



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

Manual de capacitación en adaptación al cambio climático para pesca y acuicultura en Chile

Proyecto: Fortalecimiento de la capacidad de adaptación en el
sector pesquero y acuícola chileno al cambio climático

Financiado por



Foto Portada © Luis Cubillos Santander Caleta Tumbes, Región del Biobío

Tumbes es una caleta de pescadores artesanales en la Península de Tumbes, comuna de Talcahuano, distante 12 km al norte de dicha ciudad. Se extraen diversos recursos pesqueros: piures, almejas, cholgas, erizos, jaibas, ulte, entre otros. Además, en esta caleta se construyen y se realizan actividades de mantención de embarcaciones artesanales.

Manual de capacitación en adaptación al cambio climático para pesca y acuicultura en Chile

Proyecto: Fortalecimiento de la capacidad de adaptación en el sector pesquero y acuícola chileno al cambio climático.

Por

Luis Cubillos Santander

Investigador Asociado
Centro de Investigación Oceanográfica COPAS Sur-Austral
Universidad de Concepción, Chile

Ricardo Norambuena Cleveland

Director de Transferencia
Centro de Investigación Oceanográfica COPAS Sur-Austral
Universidad de Concepción, Chile

Doris Soto Benavides

Investigadora Principal
Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR)
Universidad de Concepción, Chile

Martín Jacques Coper

Profesor Asistente
Departamento de Geofísica
Universidad de Concepción, Chile

Jeanne Simon Rodgers

Profesora Titular
Departamento Administración Pública y Ciencia Política
Universidad de Concepción, Chile

María Angélica Carmona Montenegro

Coordinadora
Centro de Investigación Oceanográfica COPAS Sur-Austral
Universidad de Concepción, Chile

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA
y
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Santiago de Chile, 2021

Cita requerida:

Cubillos Santander, L., Norambuena Cleveland, R., Soto Benavides, D., Jacques Coper, M., Simon Rodgers, J. y Carmona Montenegro, M.A. 2021. *Manual de capacitación en adaptación al cambio climático para pesca y acuicultura en Chile*. Santiago de Chile, FAO y Universidad de Concepción. <https://doi.org/10.4060/cb5556es>

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-134675-4 [FAO]

© FAO, 2021



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: “La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado”.

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

Resumen

El cambio climático está alterando los ecosistemas marinos, con los consecuentes impactos en la pesca y acuicultura, los que se agravan por otros factores como la sobreexplotación, la falta de mecanismos modernos de control y fiscalización, la degradación del hábitat y la contaminación marina, entre los principales. Consecuentemente, este manual de capacitación pretende contribuir a fortalecer las capacidades técnicas de funcionarios(as) públicos que, directa o indirectamente, gestionan la pesca y la acuicultura. Se espera que los estudiantes capacitados apliquen y transmitan los conocimientos adquiridos en su quehacer laboral, especialmente a los grupos de interés con los que interactúan.

Este instrumento de capacitación está diseñado para implementarse a través de un curso en modalidad semi-presencial (b-learning) o totalmente a distancia (e-learning) y requiere un equipo docente multidisciplinario con experiencia en las materias contenidas en los Módulos de aprendizaje y un conocimiento de cómo funciona la institucionalidad asociada a la pesca y la acuicultura.

El enfoque pedagógico utilizado, considera muy especialmente la diversidad de perfiles profesionales de funcionarios públicos que trabajan en la administración pública, lo que define el tipo y profundidad de contenidos. La adecuada combinación de video clases pregrabadas disponibles en una plataforma virtual de la Universidad de Concepción con clases virtuales sincrónicas, facilitan la accesibilidad y participación de los(as) estudiantes.

Los contenidos temáticos del Manual abordan las características del sistema climático, los aspectos generales de la gobernanza asociada al cambio climático, los conceptos y componentes para evaluar riesgo y vulnerabilidad en pesca y acuicultura. Como parte esencial de aprendizaje, se entregan los enfoques y herramientas básicas para que los estudiantes elaboren un caso de estudio de vulnerabilidad en pesca o acuicultura.

El Taller Práctico N°1 enfrenta a los(as) estudiantes a un caso real de evaluación de vulnerabilidad de una pesquería o de un sistema de acuicultura local/regional que deben resolver con los conceptos y herramientas metodológicas aprendidas. Esta etapa es crucial para iniciar el trabajo grupal, definir el problema y la unidad de análisis, distribuir tareas acordes a las experticias disponibles y establecer un cronograma de actividades. En el Taller práctico N°2 los grupos de trabajo presentan los resultados de su caso de estudio ante una audiencia compuesta por los(as) estudiantes de la capacitación, los docentes, autoridades y expertos en materias pesqueras, de acuicultura, oceanografía, ambiente, economía y ciencias sociales.

La participación en el foro a través de opiniones y consultas sobre los contenidos que se exponen semana a semana es una actividad que permite obtener retroalimentación del aprendizaje de los (as) estudiantes y resolver brechas en la comprensión de los contenidos. Los tutoriales implementados hacia el final de la capacitación sirven para orientar a los grupos de trabajo en la etapa final de elaboración de su caso de estudio.

La implementación de esta capacitación sobre un tema tan complejo e integrador de disciplinas como es la evaluación de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático ofrece una oportunidad invaluable de reunir experiencias y enfoques que enriquecen las propuestas de soluciones a los casos de estudio planteados.



Índice

Resumen	iii
Prólogo	xi
Agradecimientos	xiii
Abreviaturas y acrónimos	xiv
1. Introducción	1
2. Enfoque e instrumentos pedagógicos	3
2.1 Convocatoria e inscripción de estudiantes	3
2.2 Perfil de los estudiantes	4
2.3 Perfil de los docentes	4
2.4 Diseño y secuencia pedagógica de módulos y talleres prácticos	5
2.5 Módulos y selección de contenidos	6
2.6 Talleres con ejercicios prácticos	10
2.7 Evaluaciones y calificaciones pedagógicas	12
2.8 Plataforma virtual	13
3. Desarrollo de módulos	17
3.1 Módulo 1: Introducción y contexto al cambio climático en pesca y acuicultura	17
3.2 Módulo 2: El sistema climático	22
3.2.1 Clima y tiempo meteorológico	22
3.2.2 El sistema climático	22
3.2.3 Forzamiento radiativo	24
Variabilidad natural y antropogénica	24
3.2.4 Variabilidad observada de la temperatura	25
3.2.5 El cambio climático antropogénico y algunos de sus efectos en el océano	27

3.2.6	Modelos climáticos computacionales	28
3.2.7	Cambio climático: mitigación y adaptación	30
3.3	Módulo 3: Aspectos generales de gobernanza	31
3.3.1	¿Qué es la gobernanza?	31
3.3.2	Gobernanza internacional para la adaptación al cambio climático	33
3.3.3	Gobernanza nacional del sector pesca y acuicultura	33
3.3.4	Gobernanza de sistemas socio-ecológicos	34
3.3.5	Integrando gobernanza internacional, nacional y territorial	34
3.4	Módulo 4: Introducción a la vulnerabilidad	36
3.4.1	¿Cuál es el contexto para comprender el concepto de vulnerabilidad y riesgo al cambio climático?	36
3.4.2	Conceptos claves	37
3.4.3	Vulnerabilidad socio-ecológica al cambio climático	37
3.4.4	Componentes de la vulnerabilidad	38
3.4.5	¿Cómo se relaciona la vulnerabilidad con el riesgo climático?	39
3.4.6	Consideraciones para medir la vulnerabilidad y contribuir a la adaptación	39
3.5	Módulo 5: Metodología para analizar vulnerabilidad	42
3.5.1	Evaluación de vulnerabilidad: origen y trayectoria del concepto y metodologías	42
3.5.2	Ejemplo de evaluación de vulnerabilidad	45
3.6	Módulo 6: Conocimiento disponible de riesgo y vulnerabilidad en pesca	54
3.6.1	Cambio climático y pesquerías	55
3.6.2	Vulnerabilidad y adaptación de las pesquerías al cambio climático	59
3.6.3	Consideraciones finales	61
3.7	Módulo 7: Conocimiento disponible de riesgo y vulnerabilidad en acuicultura	64
3.7.1	Acuicultura y su entorno ambiental	64
3.7.2	Como afecta el cambio climático a la acuicultura.	66
3.7.3	Cambio climático y sus efectos directos e indirectos	67
3.7.4	Algunos efectos indirectos de los cambios en temperatura, salinidad, oxígeno, patrones de lluvia entre otros	70

4.	Trabajos prácticos	81
4.1	Ejemplo de caso de estudio en pesca	81
4.2	Ejemplo de caso de estudio en acuicultura	86

Anexos

1	Glosario de términos/conceptos más usados en cambio climático	1
2	Matriz didáctica evaluación de vulnerabilidad	32

Cuadros

1	Módulos y principales contenidos abordados en la capacitación	7
2	Flujo temporal por mes y semana del curso	8
3	Dedicación de los docentes y estudiantes, número de evaluaciones por módulo y su ponderación	9
4	Ejemplos de dependencia de las condiciones del ambiente en el cual se cultiva: comparaciones cualitativas	65
5	Tolerancia térmica de diversas especies que se cultivan separadas por la zona climática en que viven y se cultivan	69
6	Forzantes/amenazas principales para la producción (biomasa en el agua etc.) asociadas al cambio climático e incremento del CO2 en el mar, cadena de efectos, impactos y medidas de adaptación	76
7	Análisis de riesgo y estimación del índice de exposición de la pesquería de reineta en Lebu, Chile	83
8	Estimación del índice de sensibilidad en la pesquería de reineta en Lebu, Chile	84
9	Estimación de la capacidad de adaptación en la pesquería de reineta en Lebu, Chile	84
10	Estimación de la vulnerabilidad de la pesquería de reineta en Lebu, Chile.	84
11	Análisis y estimación de riesgo e índice de exposición del cultivo de ostión del norte en Tongoy frente a forzantes seleccionadas	88
12	Estimación del índice de sensibilidad del cultivo de ostión del norte en Tongoy	89
13	Estimación de la capacidad de adaptación del cultivo de ostión del norte en Tongoy	89
14	Estimación de vulnerabilidad del cultivo de ostión del norte en Tongoy	89

Figuras

1	Diseño de la secuencia pedagógica de Módulos y Talleres Prácticos de la capacitación semi- presencial para funcionarios públicos sobre Adaptación al Cambio Climático en Pesca y Acuicultura	5
2	Ejemplo de mapa de sitio virtual	14
3	Pantalla de inicio ambiente virtual y despliegue de módulos implementada en el campus virtual de la Universidad de Concepción	15
4	Esquema de los componentes e interacciones del sistema climático	23
5	Promedio anual del balance de energía en la Tierra	25
6	Temperatura media anual en el hemisferio sur	26
7	Proyecciones de cambio de la temperatura superficial y precipitación en el periodo 2081-2100 con respecto al periodo 1986-2005 bajo dos escenarios de emisiones de GEI empleados por el IPCC	30
8	Esquema de análisis de vulnerabilidad socio-ecológica	43
9a	Vulnerabilidad relativa de las economías al impacto potencial del cambio climático sobre sus pesquerías (Allison <i>et al</i> , 2009)	44
9b	Vulnerabilidad de la maricultura de diferentes países al cambio climático	45
10	Matriz de riesgo semi-cuantitativa, aplicable en diversos sectores tanto en pesca como en acuicultura	48
11	Modelo de estimación de riesgos frente a amenazas del cambio climático basada en la propuesta del AR5	51
12	Diferentes estresores externos que actúan sinérgicamente con los efectos del cambio climático sobre el estado de las pesquerías	54
13	Representación gráfica de variabilidad climática con diferentes tendencias que pueden afectar a la pesca y la acuicultura	67
14a	Ciclo abierto de cultivo (mejillones)	71
14b	Ciclo de producción acuícola cerrado (salmonicultura en Chile)	72
15	Cambio climático afectando la interacción entre especies podría reducir la captación de semilla de mejillones	73

Prólogo

La humanidad está viviendo procesos de cambio en variadas dimensiones. Las escalas globales, nacionales y locales están fuertemente interrelacionadas, lo que se ha hecho tristemente evidente durante la pandemia COVID-19.

Los pronósticos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) han planteado claramente que el océano y sus ecosistemas se verán particularmente afectados por el cambio climático global, por ejemplo, aumento de la temperatura, acidificación, incremento en el nivel del mar y desoxigenación, entre otros. La zona costera y sus comunidades están recibiendo el impacto del cambio climático global con especial intensidad. En este contexto, la pesca y la acuicultura, sin duda se verán afectadas en las próximas décadas y es responsabilidad de las actuales generaciones identificar las estrategias y mecanismos para enfrentar los escenarios futuros del clima y sus consecuencias, especialmente sobre los grupos socioeconómicos y ecosistemas más vulnerables.

¿Cómo enfrentar el enorme y complejo desafío de mitigar los impactos y consecuencias del cambio climático global sobre actividades que son y serán fuente importante de alimentos para la humanidad? Existe clara evidencia científica que pesquerías sustentables poseen mayor capacidad de resiliencia ante cambios del clima y otras perturbaciones. De igual forma, ecosistemas sanos donde se desarrolla acuicultura de manera sustentable, tendrán mayores oportunidades para enfrentar los desafíos ecológicos derivados del cambio climático global que aquellos que presentan deterioro. En consecuencia, existe un vínculo indisoluble entre lograr los mayores niveles de sustentabilidad posible en la pesca y la acuicultura, y la capacidad de los países para enfrentar exitosamente las amenazas del cambio climático global.

El enfoque ecosistémico a la pesca y la acuicultura es una herramienta poderosa para avanzar en las metas del desarrollo sostenible. Un factor fundamental en dicho enfoque es poseer una gobernanza óptima de los recursos naturales y de los ecosistemas. Las y los servidores públicos asociados a las instituciones que directa o indirectamente participan en la gobernanza de la pesca y la acuicultura, son un componente clave para avanzar en las metas de sostenibilidad y, en consecuencia, en la capacidad de los países para enfrentar los desafíos, amenazas y oportunidades que nos impone el cambio climático global. A estos(as) profesionales y técnicos está orientado este manual de capacitación, como un instrumento de actualización y fortalecimiento en temáticas cruciales del cambio climático global y sus impactos en la pesca y la acuicultura. Estamos convencidos que, ante la urgencia de avanzar en medidas de adaptación y mitigación del cambio climático, las y los funcionarios públicos serán un pilar en la toma de decisiones, en la transferencia de conocimiento hacia los pescadores/as y acuicultores/as y en la generación de propuestas de medidas concretas para enfrentar los desafíos ya mencionados.

Es conocida la paradoja que, en general, lo urgente no permite ver o dedicar suficiente tiempo a lo importante. En el caso del cambio climático global y sus desafíos, esta paradoja

se resuelve claramente por sí sola: no hay duda que es urgente e importante concentrar esfuerzos significativos en la adaptación al cambio climático global.

El *manual de capacitación* que presentamos es el resultado de los esfuerzos del Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR; FONDAP-ANID) y el Centro de Investigación Oceanográfica COPAS Sur-Austral (PIA-ANID) para generar una cultura de preparación y mejor adaptación a los efectos previstos del cambio climático sobre la pesca y la acuicultura. Esperamos que este manual sea una herramienta útil para aquellos que tienen y tendrán un papel en desarrollar y/o implementar una gobernanza óptima para la pesca y la acuicultura sostenible.



Prof. Dr. Silvio Pantoja Gutiérrez

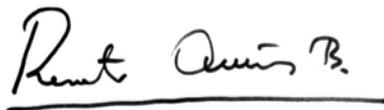
Director

Centro de Investigación Oceanográfica

COPAS Sur-Austral

PIA-ANID

Universidad de Concepción



Prof. Dr. Renato Quiñones Bergeret

Director

Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola

(INCAR)

FONDAP-ANID

Universidad de Concepción

Agradecimientos

Se agradece especialmente a María Angélica Carmona Montenegro por su valiosa colaboración en los capítulos de metodología y edición general de este Manual.

Se agradece a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, al Ministerio de Medio Ambiente y a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) por su apoyo permanente en la gestión del curso diploma que originó este manual. Al Centro de Investigación Oceanográfica COPAS Sur-Austral (PIA-ANID) por el soporte en recursos humanos y logísticos en todas las etapas; al Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola, INCAR (FONDAP-ANID) por su contribución en los contenidos de acuicultura y gobernanza; al Centro de Formación y Recursos Didácticos, CFRD por el diseño y secuencia pedagógica de módulos, plataforma virtual y manual. A todas las instituciones y sus funcionarios/as que apoyaron y participaron en el Diploma b-Learning, cuyos análisis y sugerencias contribuyeron a enriquecer el presente documento.

Se agradece también la contribución en la edición por parte de José Aguilar Manjarrez, Francisco Ponce Martínez y Laura Naranjo Báez de FAO.

Abreviaturas y acrónimos

ANID	Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo
CA	Capacidad de Adaptación
CC	Cambio Climático
CCPR	Código de Conducta para la Pesca Responsable
CFRD	Centro de Formación y Recursos Didácticos
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COP25	Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático N°25
COPAS Sur-Austral	Centro de Investigación Oceanográfica
CORECC	Comités Regionales de Cambio Climático
DIRDN	Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales
E	Exposición
EEA	Enfoque Ecosistémico de la Acuicultura
EEP	Enfoque Ecosistémico de la Pesca
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
EV	Evaluación de la Vulnerabilidad socio ecológica
FANs	Florecimientos algales nocivos (FANs)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONDAP	Fondo de Financiamiento de Centros de Investigación en Áreas Prioritarias
GEF	Global Environment Facility
GEI	Gas de efecto invernadero
IAD	Análisis y Desarrollo Institucional
INCAR	Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola
INDNR	Pesca Ilegal No Declarada y No Reglamentada
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MIDESO	Ministerio de Desarrollo Social
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas

PIA	Programa de Investigación Asociativa
RCP	Representative Concentration Pathway (Trayectoria de concentración representativa)
RMS	Rendimiento Máximo Sostenido
S	Sensibilidad
SCH	Sistema de Corrientes de Humboldt
SERNAPESCA	Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura
SPA	Anticiclón del Pacífico Sur
SUBPESCA	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
ZEE	Zona Económica Exclusiva

1. **Introducción**

1. Introducción

¿Por qué este Manual de Capacitación? En primer lugar, porque el cambio climático es un proceso global que está afectando a todo el planeta y a todas las actividades humanas y en particular a la pesca y la acuicultura. En segundo lugar, porque una de las estrategias identificadas para enfrentar este proceso es la adaptación a los efectos del cambio climático. En tercer lugar, porque se ha reconocido la necesidad de capacitar a funcionarios públicos que, en su gran mayoría, no recibieron educación formal en estas materias.

Consecuentemente, este manual pretende cubrir la necesidad de un instrumento de enseñanza-aprendizaje dirigido a funcionarios(as) públicos cuya labor está asociada, directa o indirectamente, a la gestión de la pesca y la acuicultura.

Como instrumento de enseñanza-aprendizaje, el manual plantea un enfoque pedagógico considerando que todos los estudiantes son profesionales y técnicos formados en diversas disciplinas y que pertenecen a distintas instituciones públicas. Por estas razones el nivel de intensidad y profundidad en el desarrollo de los contenidos del manual se adecuaron a esta realidad. Los contenidos temáticos del manual abordan las principales características del sistema climático, aspectos generales de la gobernanza asociada al cambio climático, los conceptos y componentes para la evaluación del riesgo y vulnerabilidad en pesca y acuicultura. Como parte esencial del aprendizaje, se entregan las herramientas para que los estudiantes realicen un caso de estudio de vulnerabilidad en pesca o acuicultura.

El Manual está basado en la experiencia obtenida durante el curso semi-presencial: *Adaptación al Cambio Climático en Pesca y Acuicultura en Chile*, en el marco del Proyecto *“Diseño e Implementación de un Programa de Capacitación sobre Adaptación al Cambio Climático en Pesca y Acuicultura para Funcionarios Públicos, Expertos Nacionales y Tomadores de Decisión a Nivel Nacional, Regional y Comunal”*.

Esta iniciativa ejecutada por la Universidad de Concepción es una contribución al Proyecto *“Fortalecimiento de la Capacidad de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Pesquero y Acuícola de Chile”*, el cual es ejecutado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) y el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), e implementado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por su sigla en inglés).

El equipo de trabajo de la Universidad de Concepción estuvo conformado por investigadores y profesionales pertenecientes al Centro de Investigación Oceanográfica COPAS Sur-Austral, al Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR) y al Centro de Formación de Recursos Didácticos (CFRD) de la Universidad de Concepción.

Finalmente, debemos declarar que en el manual se desarrollan tópicos en un sentido amplio con el objeto de facilitar la consulta de las referencias y la literatura especializada. Se destaca que el texto puede aún contener errores referenciales. Por ende, se agradecerá a los estudiantes y/o lectores que informen de tales anomalías para mejorar y actualizar progresivamente sus contenidos.

2. Enfoque e instrumentos pedagógicos

2. Enfoque e instrumentos pedagógicos

La capacitación está dirigida, pero no limitada, a profesionales con experiencia directa o indirecta en la administración de pesquerías y/o acuicultura, preferentemente funcionarios de instituciones sectoriales (pesca y acuicultura) y de otras que indirectamente participan en la regulación o desarrollo de la pesca y la acuicultura: institucionalidad ambiental, territorial, salud, turismo, desarrollo rural, entre otras.

El objetivo esencial es transferir conocimiento y capacidades para la adaptación de la pesca y la acuicultura al cambio climático.

La modalidad de capacitación puede ser semi-presencial (con la mayor proporción de las actividades realizadas a distancia) o totalmente a distancia utilizando plataformas virtuales.

La plataforma virtual debe garantizar la máxima interacción entre relatores y estudiantes.

Para ejemplificar algunos de estos aspectos, en el Manual se hará referencia a la experiencia con el Curso Diploma “Adaptación al cambio climático en pesca y acuicultura en Chile” desarrollado entre agosto de 2019 y enero de 2020.

2.1 Convocatoria e inscripción de estudiantes

Para realizar la convocatoria se debe disponer del programa con los objetivos y descripción de la capacitación (objetivos, docentes, duración, requisitos de admisión, plan de estudios, modalidad, régimen horario, resultados de aprendizajes esperados, contenidos, metodología, evaluación y material de apoyo, entre los principales). Además, tener definido si será una convocatoria abierta o dirigida como en el caso que presentamos (requisito de admisión: desempeño en el sector público). En cualquiera de estas situaciones, la convocatoria debe ser comprensible, oportuna en los plazos y precedida de comunicación en diversos medios para otorgar equidad en la posibilidad de postulación.

En la experiencia chilena, para obtener la mejor representatividad geográfica, institucional y profesional de los estudiantes inscritos, se elaboró una base de datos con las potenciales entidades interesadas, identificando sus autoridades, jefaturas, personas y sus datos de contacto a las cuales enviar una carta de invitación, describiendo el contexto (cambio climático, vulnerabilidad, capacidad de adaptación), la justificación y oportunidad del curso de capacitación, el objetivo y su duración. Además de adjuntar el formulario de inscripción, se especifica el plazo para la inscripción y los cupos reservados a nivel central y regional, siendo la institución la invitada a participar y seleccionar a sus postulantes. Involucrar a las jefaturas asegura el compromiso institucional, respalda la dedicación de horas laborales por el/la profesional y valida la capacitación.

En el caso de existir limitación para el número de estudiantes posible de acoger, se sugiere establecer y ponderar vacantes por institución (sectorial, no sectorial) y zona geográfica.

En el Curso realizado en Chile, se inscribieron 184 funcionarios públicos, vinculados a 15 instituciones públicas con representación de las 16 regiones administrativas del país.

2.2 Perfil de los estudiantes

El perfil de los postulantes puede ser diverso, primando la experiencia que posean en la administración pública de la pesca y la acuicultura. En el curso realizado en Chile estuvieron representadas las disciplinas de biología, biología marina, bioingeniería, biología pesquera, ecología marina, oceanografía, acuicultura, ciencias biológicas, educación ambiental, química ambiental, química industrial, medicina veterinaria, geología, geografía, derecho, periodismo, construcción civil, ingenierías (pesquera, en medio ambiente, en acuicultura, acuícola, en agronomía, ambiental, civil Industrial, civil química, civil bioquímica, de ejecución en pesca y acuicultura, en gestión de turismo, en medio ambiente y manejo costero, en medio ambiente y recursos naturales, forestal, en alimentos, en prevención de riesgos, comercial). Algunos estudiantes con diplomados (en gestión ambiental, gestión en recursos naturales) y postgrados a nivel de Magister (en ciencias con mención en microbiología, oceanografía, gestión medioambiental, ingeniería civil industrial, en ciencias del mar), y de doctorado (fisiología de macroalgas), Oficiales de la Armada de Chile, y carreras técnicas (en producción acuícola, en acuicultura, en saneamiento ambiental). Los cargos ocupados por los estudiantes participantes corresponden a investigación, jefatura, dirección regional, dirección zonal, Capitanía de Puerto, coordinación, asistencia técnica, asesoría, técnico zonal, analista sectorial, encargado/a regional, fiscalización, apoyo comunicacional, inspector/a, entre otras.

El énfasis de la capacitación es científico-técnico y el nivel de profundidad medio-alto. Si bien es importante el perfil de los estudiantes en cuanto a su formación académica también lo es el rol o cargo desempeñado en sus respectivas entidades. El conjunto de estas dimensiones enriquece el análisis con un enfoque multi e interdisciplinario y contribuye con una mirada inter-institucional, especialmente durante los trabajos prácticos.

2.3 Perfil de los docentes

Considerando el enfoque multidisciplinario de este Manual, los docentes debiesen tener conocimiento, experiencia y capacidad demostrada en las siguientes disciplinas y experticias:

- Climatología marina
- Cambio climático asociado a pesca y acuicultura
- Biología y ecología marina
- Interacciones ambiente-acuicultura

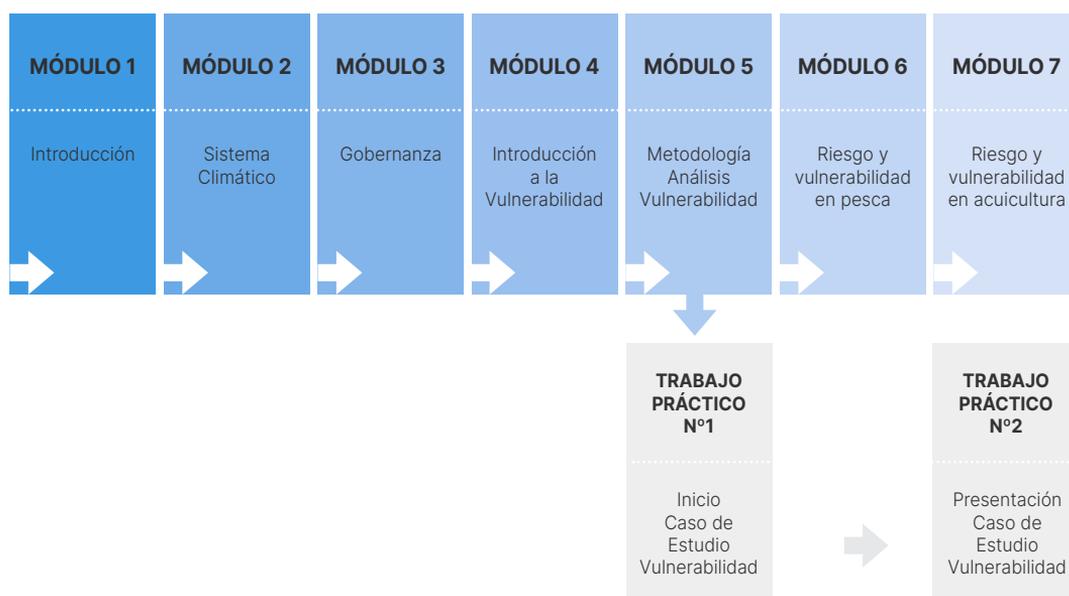
- Interacciones ambiente-pesquerías
- Gobernanza
- Sistema institucional público

2.4 Diseño y secuencia pedagógica de módulos y talleres prácticos

Se sugiere que el diseño de la capacitación semipresencial contemple la articulación de módulos secuenciales que pueden contener video clases pre-grabadas, clases virtuales sincrónicas, foros, tutoriales, y sesiones presenciales en formato Taller Práctico (Figura 1). Es importante notar que el primer Trabajo Práctico se debe realizar una vez que se ha instruido a los(as) estudiantes sobre la metodología para evaluar riesgo y vulnerabilidad en pesca y acuicultura.

FIGURA 1

Diseño de la secuencia pedagógica de Módulos y Talleres Prácticos de la capacitación semi- presencial para funcionarios públicos sobre Adaptación al Cambio Climático en Pesca y Acuicultura



2.5 Módulos y selección de contenidos

Para el aprendizaje de contenidos y herramientas, este Manual está organizado en 7 Módulos y 2 Trabajos Prácticos. Está dirigido a que los estudiantes comprendan las causas y efectos del cambio climático sobre las pesquerías y la acuicultura, conozcan los sistemas de gobernanza disponibles, comprendan y apliquen los conceptos de riesgo, vulnerabilidad y capacidad de adaptación.

Cada módulo está basado en un Programa con su descripción, objetivo general y específicos, los principales contenidos, el número total de horas y la secuencia proyectada de actividades. Para cada módulo se entrega bibliografía o referencias específicas del tema tratado. En la última parte del Manual se incluyen referencias que puedan ser consultadas por aquellos estudiantes que deseen profundizar sus conocimientos.

La estrategia de enseñanza-aprendizaje utilizada en este Manual es: primero, reforzar conceptos y procesos claves sobre cambio climático en pesca y acuicultura; en segundo lugar realizar un ejercicio práctico que permita a los estudiantes aplicar conceptos, enfoques y herramientas bajo un caso de estudio en una pesquería o un sistema de acuicultura, para evaluar su vulnerabilidad y riesgo frente al cambio climático.

Considerando el perfil laboral de los estudiantes (trabajadores con jornada completa), se recomienda dedicación de 8 horas/semana, incluidas clases virtuales que, en general, no exceden los 45 minutos.

Los contenidos básicos abordados en cada módulo se presentan en el Cuadro 1.

El Cuadro 2 resume el flujo temporal de ejecución de los módulos, por mes y semana. El Cuadro 3 resume referencialmente la dedicación necesaria de los docentes y estudiantes, el número de evaluaciones por módulo y su ponderación.



CUADRO 1

Módulos y principales contenidos abordados en la capacitación

	DESCRIPCIÓN
MÓDULO	Introducción y contexto al cambio climático en pesca y acuicultura
1	Presenta consideraciones generales relativas a los sistemas socioecológicos relacionados con la pesca y la acuicultura a nivel global, nacional y regional/local. Menciona la importancia del enfoque ecosistémico y principio precautorio en la identificación y selección de medidas de adaptación. Se revela la importancia de la detección y atribución de efectos/consecuencias al cambio climático.
2	El sistema climático Describe y analiza los principales componentes del sistema climático. Explica conceptos relevantes del clima, y repasa, en particular, su variabilidad temporal (natural y antropogénica), su influencia sobre el océano y el rol de éste en el sistema. Menciona la modelación climática y presenta los escenarios climáticos futuros. Entrega elementos para relacionar las actividades socioeconómicas con el cambio climático antropogénico y discute el desarrollo futuro.
3	Aspectos generales de gobernanza Presenta el concepto de gobernanza y fundamenta su importancia para generar capacidad de adaptación al cambio climático. Visibiliza el rol de las organizaciones en el Plan Sectorial de Adaptación al Cambio Climático.
4	Introducción a la vulnerabilidad y riesgo Se introducen conceptos de riesgo y vulnerabilidad de sistemas socio-ecológicos al cambio climático, con énfasis en la pesca y la acuicultura. En este ámbito se define el riesgo y la vulnerabilidad ante el cambio climático en sus componentes: a) exposición, b) sensibilidad, y c) capacidad de adaptación. Se presentan aspectos generales para realizar una medición integral de la vulnerabilidad a nivel local, tal que permita reducirla aumentando la adaptación.
5	Metodología de análisis y evaluación de vulnerabilidad Se describe la evolución de los enfoques metodológicos utilizados para evaluar la vulnerabilidad de la pesca y la acuicultura frente al cambio climático. Se transfieren herramientas de análisis y cálculo semi-cuantitativos para calcular el riesgo, los índices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.
6	Riesgo y vulnerabilidad en pesca Se presentan antecedentes y un entendimiento integrado de los efectos del cambio climático sobre los recursos y las pesquerías, indagando en la necesidad de una respuesta efectiva para adaptar las actividades que dependen de la gestión pesquera. Además, describe la complejidad de análisis de vulnerabilidad de la pesca al cambio climático, considerando que la actividad pesquera tiene sus propios riesgos (sobreeplotación de los recursos) y externalidades (pesca ilegal, contaminación, entre otras.)
7	Riesgo y vulnerabilidad en acuicultura Describe y analiza los sistemas acuícolas más relevantes y cómo pueden ser afectados por el cambio climático, dependiendo de las especies, formas de producción y principales forzantes. Se describe el análisis de vulnerabilidad y riesgo de la acuicultura, sus implicancias ecológicas, productivas, socioeconómicas y de gobernanza. Se finaliza con un ejemplo práctico en acuicultura.
Trabajo Práctico N°1	Idealmente se recomienda realizar este taller en formato presencial. Si existen restricciones sanitarias o presupuestarias, se debe organizar en formato virtual. Comprende una breve inducción metodológica sobre evaluación de vulnerabilidad, la organización de los grupos de trabajo y los casos de estudio asignados. Organizados en grupos de trabajo, los estudiantes desarrollan un caso de estudio de vulnerabilidad de una pesquería o un sistema de acuicultura, pertinente a su ámbito de acción laboral y a la región geográfica. Al final del taller los grupos de trabajo deben exponer y defender frente al resto su perfil de caso de estudio. Considerando las observaciones recibidas, los grupos de trabajo presentan formalmente su perfil de caso de estudio, el que es evaluado por los docentes.
Trabajo Práctico N°2	Idealmente se recomienda realizar este taller en formato presencial. Si existen restricciones sanitarias o presupuestarias, se debe organizar en formato virtual. Los grupos de trabajo presentan y defienden el caso de estudio desarrollado ante un público conformado por sus compañeros(as) e invitados (autoridades sectoriales, expertos). De esta instancia, los estudiantes pueden recoger recomendaciones e incorporarlas en el informe final del caso de estudio.

CUADRO 2

Flujo temporal por mes y semana del curso

PLATAFORMA VIRTUAL							
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	
SEMANA 1	MÓDULO 1 Introducción	MÓDULO 2 Sistema climático	MÓDULO 4 Introducción a vulnerabilidad	TRABAJO PRÁCTICO N°1 Inicio caso de estudio vulnerabilidad	MÓDULO 7 Vulnerabilidad y riesgo en acuicultura	CALIFICACIONES Y CIERRE	
FOROS Y CONSULTAS							
SEMANA 2	MÓDULO 2 Sistema climático	MÓDULO 3 Gobernanza	MÓDULO 4 Introducción a vulnerabilidad	MÓDULO 6 Vulnerabilidad y riesgo en pesca	MÓDULO 7 Vulnerabilidad y riesgo en acuicultura		
FOROS Y CONSULTAS							
SEMANA 3	MÓDULO 2 Sistema climático	MÓDULO 3 Gobernanza	MÓDULO 5 Metodología análisis vulnerabilidad	MÓDULO 6 Vulnerabilidad y riesgo en pesca	MÓDULO 7 Vulnerabilidad y riesgo en acuicultura		
FOROS Y CONSULTAS							
SEMANA 4	MÓDULO 2 Sistema climático	MÓDULO 3 Gobernanza	MÓDULO 5 Metodología análisis vulnerabilidad	MÓDULO 6 Vulnerabilidad y riesgo en pesca	TRABAJO PRÁCTICO N°1 Inicio caso de estudio vulnerabilidad		
FOROS Y CONSULTAS							

CUADRO 3

Dedicación de los docentes y estudiantes, número de evaluaciones por módulo y su ponderación

	Nº HORAS PREPARACIÓN DOCENTE	Nº HORAS PEDAGÓGICAS	Nº ESTIMADO HORAS ESTUDIO	Nº EVALUACIONES	PONDERACIÓN CALIFICACIÓN POR MÓDULO (%)
MÓDULO 1 Introducción	9	3	6	1	5
MÓDULO 2 Sistema climático	27	9	15	2	10
MÓDULO 3 Gobernanza	27	9	15	2	10
MÓDULO 4 Introducción a la vulnerabilidad	18	6	10	1	10
MÓDULO 5 Metodología análisis vulnerabilidad	27	9	7	2	10
TRABAJO PRÁCTICO N°1 Inicio Caso de Estudio de Vulnerabilidad	24	8	24	2	15
MÓDULO 6 Vulnerabilidad y riesgo en pesca	27	9	15	2	10
MÓDULO 7 Vulnerabilidad y riesgo en acuicultura	27	9	15	2	10
TRABAJO PRÁCTICO N°2 Presentación Caso de Estudio de Vulnerabilidad	12	4	30	2	20
FOROS Y CONSULTAS		34			No tiene
	198	100	137	16	100

2.6 Talleres con ejercicios prácticos

A partir del Módulo 5 se inicia la componente práctica de la capacitación como herramienta altamente significativa para el aprendizaje y comprensión de la fase teórica y conceptual. Se entregan definiciones y conceptos, los principales enfoques/metodologías usadas para evaluar vulnerabilidad y riesgo en pesca y acuicultura y, finalmente, se expone un ejemplo práctico en acuicultura. El objetivo es que los estudiantes apliquen los conceptos aprendidos y ejerciten una metodología sencilla que consiste, básicamente, en estimar la vulnerabilidad de un sistema socio-ecológico en base a índices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. En síntesis, los estudiantes deben desarrollar un caso de estudio en pesca o acuicultura, pertinente a su ámbito de acción laboral y a la región geográfica.

El diseño de los talleres prácticos considera las siguientes etapas:

Taller Práctico N°1: Estudio de caso en pesca o acuicultura

Objetivo: Definir el objetivo, enfoque, metodología y resultados esperados de un caso de estudio de vulnerabilidad.

Etapas claves:

- i. Organizar exhaustivamente grupos de trabajo por zona geográfica considerando paridad de género, profesión e instituciones, con el propósito de generar un enfoque multisectorial al trabajo de grupo de acuerdo al rol/cargos de cada estudiante. Se recomienda que los grupos no superen las cinco personas.
- ii. Identificación de casos de estudio de pesquerías o de acuicultura seleccionando aquellos con relevancia regional/local, de manera que la información fuente fuese conocida y



el resultado del ejercicio genere pertenencia y validez conceptual. Para la experiencia realizada en Chile, se identificaron 32 casos de estudio que comprendieron pesquerías o sistemas de acuicultura desde la zona norte hasta el extremo sur del país.

- iii. Previo al taller, se debe elaborar un instructivo para los estudiantes que incluya claramente a) el objetivo del ejercicio, b) el caso de estudio asignado a cada grupo, c) las formalidades mínimas para presentar el perfil de su proyecto durante el taller (en formato ppt) y elaborar el respectivo informe (en formato Word) con plazo de entrega (10 días corridos desde la fecha del taller). El Instructivo considera, además, que cada grupo debe designar un coordinador(a) del trabajo grupal quien será el enlace con los relatores y la coordinadora del curso a través de la plataforma virtual.
- iv. Elaborar y publicar en la plataforma virtual un tutorial para realizar el análisis de vulnerabilidad con los pasos y consideraciones para la estimación de exposición, evaluación de sensibilidad y capacidad de adaptación. Como anexos al tutorial, se debe elaborar la matriz didáctica (planilla Excel pre-formateada con fórmulas y ejemplos de indicadores y forzantes, Anexo 2) para evaluación de riesgo y vulnerabilidad diseñada como referencia.
- v. Elaborar el programa del taller práctico 1 con una duración de 8 horas. Esto es posible organizarlo de manera presencial en un lugar que permita el trabajo de máximo 6 grupos de trabajo, con apoyo logístico de proyector, comunicación wifi, pizarras, lápices, servicio de cafetería y almuerzo. Se recomienda que el taller sea conducido por al menos un relator titular del curso, con el apoyo de un facilitador con experiencia comprobada en pesca y acuicultura. También es posible organizarlo en ambiente virtual con aplicaciones que contengan una sala general y salas de grupos más pequeños, con la participación de un/a facilitador/a por grupo de trabajo.
- vi. Paralelamente, en la plataforma virtual debe organizarse foro grupal para la retroalimentación con recomendaciones y sugerencias que permita mejorar el desarrollo de los casos de estudio.

Taller Práctico N°2: Presentación de análisis de vulnerabilidad del estudio de caso

Objetivo: Presentar y defender el caso de estudio de vulnerabilidad en pesca o acuicultura frente al cambio climático asignado a cada grupo de trabajo.

Etapas claves:

- i. Elaborar y compartir previamente el programa del taller para asegurar la presentación de todos los grupos de trabajo en el tiempo de exposición y discusión cooperativa con la audiencia (15 minutos para exposición y cinco minutos para preguntas y sugerencias).
- ii. Presentación y defensa de casos de estudio por parte de los grupos de trabajo especialmente el proceso de estimación de los indicadores de riesgo (forzantes

- climáticas) asociados al cálculo de la Exposición, indicadores de Sensibilidad y de Capacidad de Adaptación.
- iii. Evaluación de las presentaciones por parte de los relatores considerando tres variables: a) presentación, b) conceptos y análisis de información disponible y c) medidas de adaptación presentadas
 - iv. La audiencia realiza preguntas y aportes para contribuir a mejorar los resultados de cada caso de estudio que deberán entregarse en el Proyecto Final, documento Word también evaluado.

Proyecto final:

Objetivo: Elaboración de documento que describe el caso de estudio y concluye con las propuestas de medidas de adaptación para el sistema socio-ecológico seleccionado.

Etapas claves:

- i. Elaborar un instructivo con el contenido y formato para asegurar el desarrollo de los aspectos a evaluar por todos los grupos (contexto, objetivos, metodología, resultados de evaluación de vulnerabilidad, recomendaciones y acciones de adaptación referidas al caso de estudio y fuentes de información consultadas). El plazo para la entrega del proyecto final fue de 15 días después de realizado el taller práctico 2.
- ii. Evaluación por parte de los relatores con comentarios y sugerencias sobre el documento en formato Word presentado, para conocimiento del grupo de trabajo.

Este documento representa la última fase de la capacitación en que los grupos de trabajo sintetizan y aplican los conocimientos aprendidos en un caso de estudio.

2.7 Evaluaciones y calificaciones pedagógicas

Evaluar el desempeño y participación verificada de los estudiantes durante el proceso de capacitación es clave no sólo para la entrega del certificado con la nota final, sino también para motivar y enriquecer la discusión durante el desarrollo (módulos, foros, talleres prácticos y proyecto final). En la experiencia chilena se utilizó lo siguiente:

- i. Las evaluaciones formales fueron calificadas en escala de 1 a 7, la nota mínima de aprobación de la capacitación fue igual a 5,0 y la calificación final se expresó en 3 conceptos: Calificación sobresaliente (6,7 a 7,0), Aprobado con distinción (6,1 a 6,6) y Aprobado (5,0 a 6,0).

- ii. Como instrumentos de evaluación se aplicaron 3 modalidades:
- a) Pruebas en línea con 5 a 10 preguntas según su categoría parcial o final por módulo, con 3 alternativas de respuesta para cada pregunta y una respuesta correcta, implementadas en campus virtual en un tiempo (una hora) y plazo definido para responderlas (2 a 3 días). Se sugiere conformar un banco de preguntas con sus respectivas alternativas de respuestas por módulo y diseñar un sistema de selección al azar de tal manera que el set de preguntas sea diferente para cada estudiante.
 - b) Evaluación de presentación oral evaluada por los relatores con calificación por grupo de trabajo con motivo de cada caso de estudio (talleres prácticos 1 y 2)
 - c) Evaluación de documento escrito evaluado por los relatores con calificación por grupo de trabajo (perfil de proyecto y proyecto final).

La calificación final debe recoger la ponderación de todas las actividades de la capacitación considerando extensión y profundidad de los módulos, relevancia del ejercicio práctico (ver Cuadro 3).

2.8 Plataforma virtual

El ambiente virtual de aprendizaje debe ser robusto en su funcionamiento, de fácil acceso y navegación, con equipo técnico permanente y tutores para responder consultas y facilitar la comunicación. En la experiencia chilena, para el curso/diploma “Adaptación al cambio climático en pesca y acuicultura” estuvo alojado en un campus virtual de la Universidad de Concepción, con un lema distintivo denominado “Ese mar que tranquilo se Adapta”. El mapa del sitio implementado en esta plataforma se resume en la Figura 2.

Se sugiere considerar panel de accesibilidad destinado a personas con discapacidad visual para cambiar tamaños de letra y modificar los contrastes según el tipo de dificultad visual.

El usuario accede al ambiente de comunicación (correo, foros, avisos), contexto (objetivos, relatores, descargas) y contenidos (módulos, video clases, evaluaciones). La pantalla de inicio en la plataforma virtual permite al estudiante acceder progresivamente a los módulos (Figura 3) que incluyen los contenidos, los talleres prácticos y las evaluaciones.

FIGURA 2
Ejemplo de mapa de sitio virtual

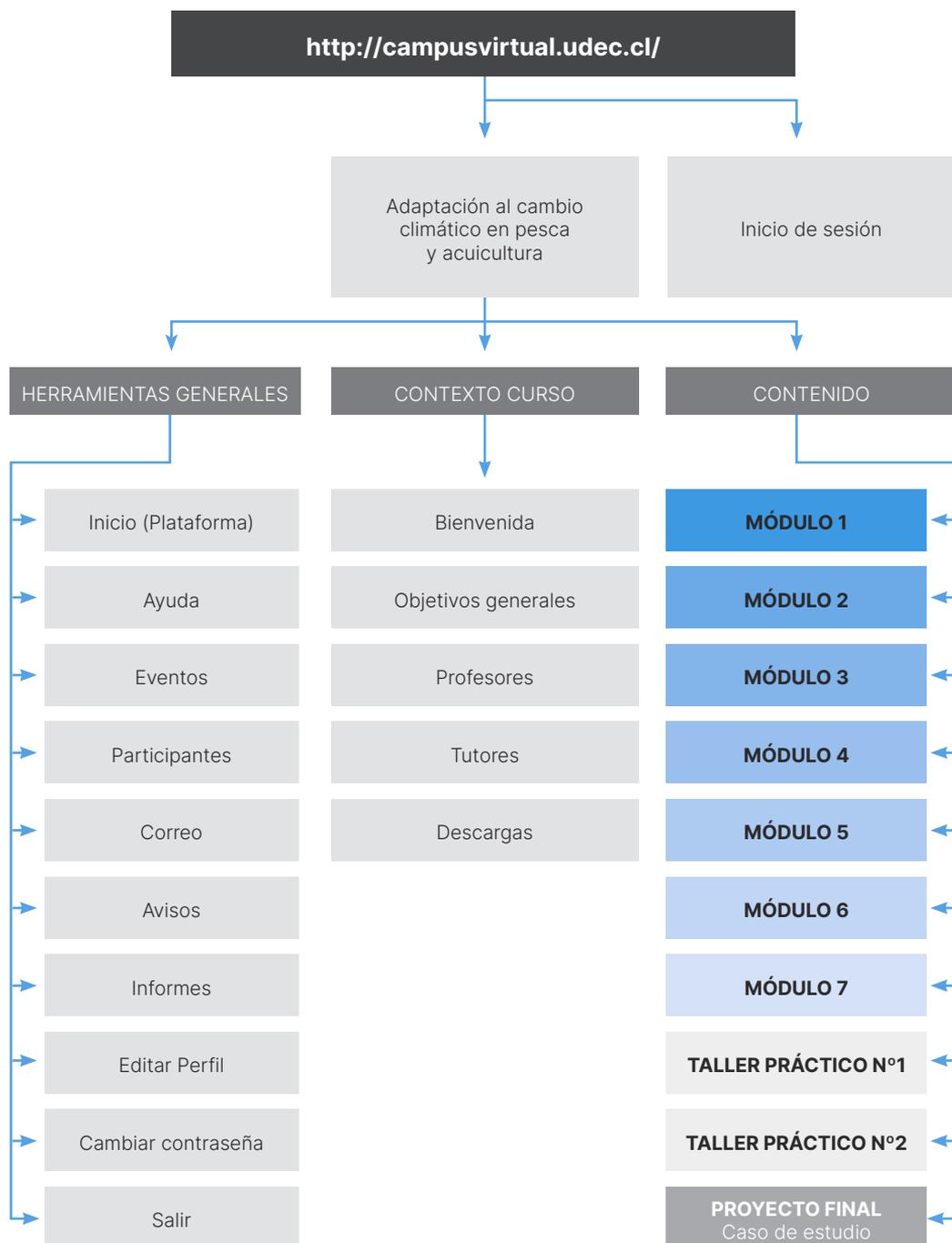


FIGURA 3

Pantalla de inicio ambiente virtual y despliegue de módulos implementada en el campus virtual de la Universidad de Concepción



Fuente: Universidad de Concepción. 2021. Campus virtual de la Universidad de Concepción, <http://campusvirtual.udec.cl/ingresos/campus/?errorcode=3>

3. Desarrollo de módulos

3. Desarrollo de módulos

Los módulos de aprendizaje están organizados de tal manera que los estudiantes puedan adquirir progresivamente los conocimientos para abordar oportunamente la elaboración del caso de estudio.

3.1 Módulo 1: Introducción y contexto al cambio climático en pesca y acuicultura

Para enfrentar las consecuencias esperadas del cambio climático, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) recomienda la realización de intervenciones dirigidas a minimizar sus impactos. Sin embargo, estas intervenciones presentan problemas múltiples, multisectoriales y muy complejos para su implementación. En este contexto, el IPCC ha propuesto organizar los desafíos operacionales para enfrentar el cambio climático (CC) en dos pilares centrales, como puntos de acceso para los ámbitos y sectores a evaluar:

- Mitigación para reducir la emisión y acumulación de gases de efecto invernadero (GEI).
- Adaptación para afrontar los actuales riesgos y prepararse para la evolución del clima a corto y mediano plazo.

Dos de los sectores económicos más vulnerables al cambio climático son, sin duda, la pesca y la acuicultura. Según el IPCC, el cambio climático bajo sus distintas formas de manifestación está alterando los ecosistemas marinos, con los consecuentes impactos en la pesca y acuicultura, los que se agravan por otros factores como la sobreexplotación, la falta de mecanismos modernos de control y fiscalización, la degradación del hábitat y la contaminación marina, entre los principales.

El cambio climático plantea nuevos desafíos para el desarrollo sostenible de nuestro planeta: a) adaptación a los cambios que se están produciendo y aquellos que se proyectan en el futuro, y b) la reducción de emisiones de gases efecto invernadero.

A pesar de los avances globales en investigaciones científicas sobre cambio climático, aún no existe información suficiente para identificar los impactos del cambio climático en todos los sectores productivos. Por otra parte, existen conflictos entre los intereses de corto y largo plazo, que dificulta la formulación e implementación de las políticas públicas en cambio climático. En este contexto, los tomadores de decisiones tienen- por lo general- grandes dificultades para comprender y responder de manera efectiva a los problemas complejos que presenta el cambio climático.

En el caso de Chile, a pesar de los esfuerzos realizados, elaborando planes y definiendo acciones para abordar el cambio climático, es claro que permanecen ciertas barreras que impiden contar con un sector pesquero y acuícola más resiliente y en condiciones de adaptarse a los efectos esperados de este fenómeno.

Estas barreras, se relacionan con debilidades en el marco institucional y limitaciones de las capacidades públicas, privadas y de la sociedad civil, para entender y enfrentar este proceso. Además, la institucionalidad sectorial muestra insuficiencias en el ámbito de la coordinación que conlleva a la escasa comprensión de los vínculos entre la gestión de los recursos pesqueros y acuícolas y los impactos del cambio climático, por lo cual las decisiones en torno a medidas de corto, mediano y largo plazo se realizan sin considerar esta variable.

Complementariamente, la insuficiencia de conocimiento respecto a los efectos ambientales, sociales y económicos del cambio climático, impiden la adopción de medidas de administración bajo un enfoque ecosistémico que permita un desarrollo sostenible del sector, generando los siguientes efectos:

- i. Insuficiente agilidad y rapidez en la implementación de normas adaptativas, orientadas a responder oportunamente a cambios bruscos de las condiciones ambientales
- ii. Deficiencia o lentitud en el proceso de regularización y/o autorización de actividades de diversificación productiva en las caletas artesanales, lo cual dificulta la incorporación de tecnologías que permitirían dar valor agregado a las capturas desembarcadas, entre otros.

Las dificultades observadas en el entendimiento del problema y la falta de información para su comprensión, por parte de la institucionalidad (pública, privada y sociedad civil) inhiben la debida formulación de proyectos para la obtención de recursos financieros para apoyar los procesos de adaptación al cambio climático y acompañar su implementación, transformándose, la escasez de recursos y la falta de capacidad técnica, en una de las grandes limitantes para avanzar en el diseño e implementación de medidas de mitigación y adaptación al CC.

Estas limitaciones desembocan en impactos negativos en términos de generación de normas que no incorporan los efectos del cambio climático lo cual, sumado a otras prácticas no deseadas y la falta de aplicación de un enfoque ecosistémico, pueden afectar la disponibilidad de los recursos hidrobiológicos.

Según la FAO (2018), “en la pesca y la acuicultura, el compromiso de no dejar a nadie atrás requiere centrar la actuación y la cooperación en esfuerzos que ayuden a lograr las principales ambiciones de la Agenda 2030 en beneficio de todos los pescadores, sus familias y sus comunidades”. En este contexto, el foco de la gobernanza y el desarrollo de la pesca debe incluir no solo la conservación de los recursos y el medio ambiente -es decir, una concepción biológica de la sostenibilidad- sino también el reconocimiento de la situación social, el bienestar, los medios de subsistencia de las personas que trabajan en el sector y la contribución de la pesca a múltiples objetivos globales (seguridad alimentaria, nutrición y comercio). Ya que hoy se consume más pescado que nunca, el Código de Conducta para la Pesca Responsable (CCPR) se consolida como el marco de referencia para la aplicación de los principios del desarrollo sostenible en la pesca y la acuicultura. Se destacan los esfuerzos para avanzar en inversiones ajustadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la reducción de la

Pesca ilegal, No Declarada y No Reportada (INDNR) y la gestión de riesgos en la producción de alimentos procedentes de la acuicultura.

Uno de los temas de mayor debate y estudio a nivel mundial es la evaluación de los efectos del cambio climático en la pesca y la acuicultura. Se prevé que la producción primaria de los océanos del mundo disminuirá en 6% hacia 2100 y en 11% en zonas tropicales. Complementariamente, se prevé en 2050, el potencial total de captura pesquera mundial podrá variar en menos del 10%, dependiendo de la trayectoria de las emisiones de GEI, pero con una variabilidad geográfica muy importante. Si bien los efectos serán principalmente negativos en muchas regiones tropicales que dependen de la pesca, también existirán oportunidades en regiones templadas.

El IPCC (2014) define la adaptación como el “proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos”. Aquellos países y grupos de población de ingresos bajos carecen de capacidad institucional, financiera y tecnológica para adaptarse de manera eficaz. Por ello, el Acuerdo de París insta a incrementar la asistencia financiera para la adaptación en los países en desarrollo. Se pueden diseñar intervenciones de adaptación para apuntar a tres esferas, por separado, o a una combinación de las tres: a) Instituciones y ordenación; b) Adaptación de los medios de vida; c) Resiliencia y reducción del riesgo.

Para orientar a los países en materia de integración de la pesca y la acuicultura en los planes nacionales de adaptación, la FAO ha elaborado un conjunto de directrices y pautas específicas para la pesca y la acuicultura, basadas en los principios del enfoque ecosistémico de la pesca (EEP) y el enfoque ecosistémico a la acuicultura (EEA). La guía se basa en cuatro elementos: balance y evaluación institucional; evaluación técnica; integración de la planificación e implementación.

Las previsiones de la FAO (2018) para la pesca y la acuicultura al 2030:

Se prevé que la producción, el consumo y el comercio de pescado a nivel mundial aumenten, pero a una tasa de crecimiento que se ralentizará con el tiempo.

A pesar de la disminución de la pesca de captura en China, la producción mundial de la pesca de captura subirá ligeramente gracias a un incremento de la producción en otras zonas si los recursos se gestionan de manera adecuada.

Se prevé que el aumento de la producción acuícola mundial, aunque crezca a un ritmo menor que en el pasado, cierre la brecha entre la oferta y la demanda.

Todos los precios subirán en términos nominales al tiempo que descenderán en términos reales, aunque permanecerán elevados.

El suministro de pescado comestible se incrementará en todas las regiones, pero se prevé que el consumo de pescado per cápita descienda en África, lo cual suscita preocupaciones en relación con la seguridad alimentaria.

Se espera que el comercio de pescado y productos pesqueros aumente más lentamente que en la última década, pero que la proporción de la producción de pescado que se exporta se mantenga estable.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 6, plantea el papel que tienen la comunicación y la información, considerando que la educación, formación y la sensibilización de la sociedad desempeñan un papel muy importante en la reducción de los riesgos al cambio climático, particularmente en aquellos sectores de la población que son más vulnerables a sus efectos.

En este contexto, se han identificado las siguientes áreas de acción:

Educación: Cooperar, promover, facilitar, desarrollar y aplicar programas de educación y capacitación centrados en el cambio climático que estén dirigidos a los jóvenes en particular, y que abarquen el intercambio o la adscripción de personal para la capacitación de expertos. En relación con estos tópicos, se definen los siguientes aspectos:

Capacitación: Promover, facilitar, desarrollar y aplicar programas de capacitación centrados en el cambio climático para personal científico, técnico y directivo en los planos nacional y, cuando proceda, subregional, regional e internacional. La competencia y los conocimientos técnicos ofrecen la oportunidad de abordar y tratar adecuadamente las cuestiones del cambio climático.

Sensibilización del público: Promover, facilitar, desarrollar y aplicar programas de sensibilización de la opinión pública sobre el cambio climático y sus efectos en los planos nacional y, cuando proceda, subregional, regional e internacional, entre otras iniciativas fomentando las contribuciones y las acciones individuales de lucha contra el cambio climático, apoyando políticas inocuas para el clima y promoviendo cambios en el comportamiento, en particular utilizando los medios de comunicación de mayor difusión.

Acceso del público a la información: Facilitar el acceso del público a los datos y la información, suministrando los datos sobre las iniciativas y políticas relativas al cambio climático y sobre los resultados de las medidas adoptadas que el público y otras partes interesadas requieran para entender, abordar y tratar las cuestiones del cambio climático, teniendo en cuenta circunstancias locales y nacionales, como la calidad del acceso a Internet, los índices de alfabetización y las cuestiones lingüísticas.

Participación del público: Fomentar la participación del público en el examen del problema del cambio climático y sus efectos y en la adopción de medidas de respuesta adecuadas, facilitando la retroinformación, el debate y el establecimiento de alianzas en lo que respecta a las actividades sobre el cambio climático y a la gobernanza.

Cooperación internacional: La cooperación subregional, regional e internacional en la realización de actividades en el ámbito del programa de trabajo puede incrementar la capacidad colectiva de las Partes para aplicar la Convención, y las actividades de las organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales pueden también contribuir a su aplicación. Esa cooperación puede potenciar las sinergias entre las convenciones y mejorar la eficacia de todas las actividades de desarrollo sostenible.

Referencias

- Alarcón, C., Cubillos, L., Norambuena, R., Quiñones, R. y González, E.** 2013. Desarrollo de un enfoque regional y propuestas de proyectos piloto de adaptación al cambio climático del sector pesca y acuicultura. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Programa COPAS Sur-Austral, 151 págs.
- Adger, W.N., Huq, S., Brown, K., Conway, D. & Hulme, M.** 2003. Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in Development Studies* 3, 179–195.
- Cubillos, L.A., Alarcón, C., Norambuena, R., Quiñones, R. y Pantoja, S.** 2012. Enfoque metodológico y plan de acción para abordar el impacto del cambio climático en la pesca y acuicultura en Chile. Informe Final COPAS, Universidad de Concepción, 147 págs. + anexos
- FAO.** 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. (También disponible en www.fao.org/3/i9540es/i9540ES.pdf).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** 2007. *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by S. Solomon *et al.*, Cambridge Univ. Press, New York.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 págs.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos).** 2010. Integración de la adaptación en la cooperación para el desarrollo: Guía sobre políticas. 210 págs.
- SUBPESCA (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura).** 2019. Informe sectorial de Pesca y Acuicultura. Departamento de Análisis Sectorial. 20 págs.

3.2 Módulo 2: El sistema climático

3.2.1 Clima y tiempo meteorológico

Para comenzar, debemos entender claramente la diferencia entre clima y tiempo meteorológico.

Clima: El clima se define como el conjunto de toda la información estadística que describe la atmósfera en un determinado lugar durante un período largo de tiempo y que ayuda a describir un lugar o región. Las mismas variables que se usan para describir el tiempo caracterizan el clima. Una descripción mínima de un clima viene dada por los valores medios de variables meteorológicas tales como temperatura y precipitación en una escala de tiempo definida (mensual, anual, decadal). No obstante, para completar la descripción climática de una región, también deben tenerse en cuenta la desviación respecto al valor medio a diferentes escalas temporales (estacional, interanual, decenal), así como los fenómenos extremos, tales como los huracanes, las olas de calor o las sequías.

Tiempo meteorológico: El tiempo meteorológico se define como el estado de la atmósfera en un lugar e instante determinados. Viene definido por el valor instantáneo de las variables meteorológicas.

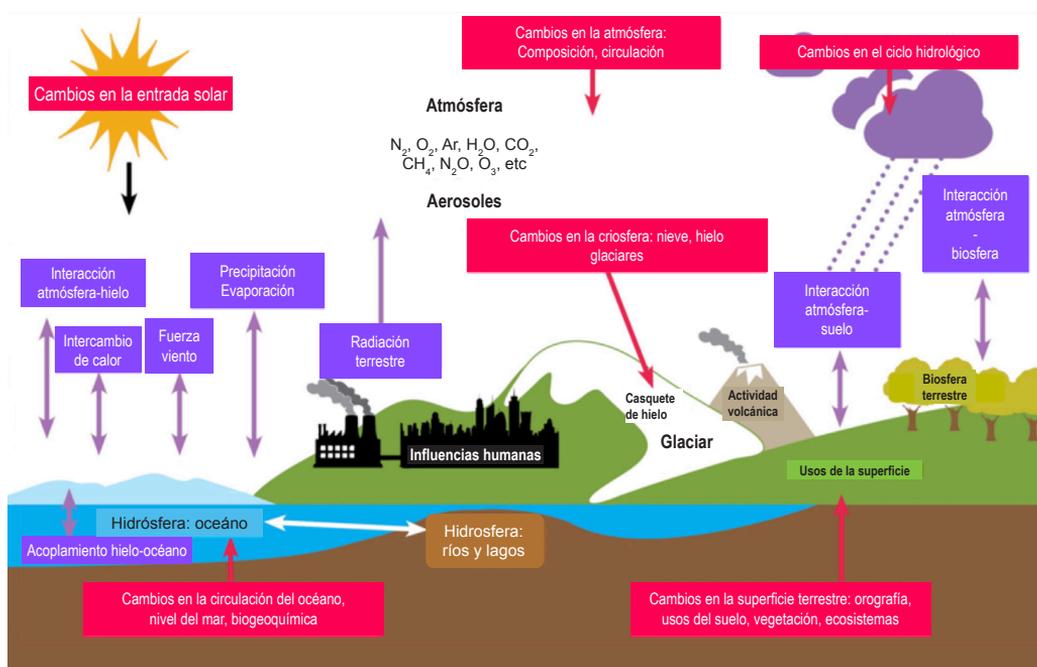
3.2.2 El sistema climático

La atmósfera es sólo una parte del sistema climático. La Tierra es un sistema complejo que funciona gracias a la energía del Sol. Las variables ambientales constituyen diferentes componentes del sistema climático: atmósfera, hidrósfera, criósfera, litósfera y biósfera. Estos componentes se relacionan entre sí y varían en respuesta a cambios externos de los mecanismos termodinámicos que tienden a buscar un equilibrio térmico a escala global. Es



decir, se trata de un sistema abierto en el cual existe intercambio tanto de materia como de energía entre sus componentes; de esta forma, se mantiene al sistema en equilibrio (Figura 4).

FIGURA 4
Esquema de los componentes e interacciones del sistema climático



Fuente: adaptada de la figura original¹, IPCC, 2001.

Cada uno de los componentes del sistema climático (Atmósfera, Hidrosfera, Criósfera, Litósfera y Biósfera) presentan una respuesta diferente a la radiación solar, con una proporción característica entre la energía reflejada y la energía absorbida. Se define el albedo o reflectividad de una superficie al cociente entre la radiación reflejada y la radiación incidente. De este modo, una superficie con albedo cercano al 100% refleja casi toda la radiación que le llega, mientras que una superficie con albedo cercano a 0% absorbe toda la radiación. Dependiendo del tipo de superficie la capacidad de reflejar la radiación solar varía. En promedio, se considera que el albedo planetario (Tierra) es del 30%. Si no existiese la atmósfera, en la Tierra, la temperatura efectiva sería de $-18^{\circ}C$.

¹ IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A.

La atmósfera es el componente que juega un papel destacado en el clima, ya que es el más inestable, por cuanto presenta un tiempo de respuesta menor, en especial la capa límite que está en contacto con el suelo y está afectada por el intercambio de calor y humedad. Se define el tiempo de respuesta como el tiempo que necesita un elemento del sistema climático para reequilibrarse después de una perturbación.

3.2.3 Forzamiento radiativo

La determinación de los diferentes componentes involucrados en el balance energético resulta vital para entender los posibles forzamientos radiativos del clima; no obstante, esto es complejo por la diversidad de observaciones y modelación requerida, y las incertidumbres asociadas. Un forzamiento radiativo se define como el cambio en la radiación neta (diferencia entre la radiación absorbida y la emitida hacia el espacio) debido a cambios en algunos de los componentes del sistema climático (por ejemplo, cambios en la composición de la atmósfera, emisión de aerosoles en erupciones volcánicas) o de elementos externos (por ejemplo, cambios en la actividad solar). Típicamente, el forzamiento radiativo se determina en la tropopausa y sus unidades son vatio/metro cuadrado (W/m^2). Si el valor del forzamiento radiativo es cero, el sistema está en equilibrio térmico y el clima planetario es estable; en cambio, si es positivo o negativo quiere decir que el sistema se está calentando o enfriando, respectivamente. Es posible además determinar la contribución al forzamiento radiativo de diferentes elementos del sistema climático, tales como: la actividad solar, los gases de efecto invernadero, los aerosoles y el albedo determinado por los usos de suelo. Cuando se habla del cambio climático, las forzantes se conocen como forzantes radiativas y se refieren a la cantidad de energía radiativa que absorbe la atmósfera globalmente expresada en W/m^2 . El presupuesto de energía de la Tierra describe los diversos tipos y cantidades de energía que entran y salen del sistema terrestre. Incluye componentes radiativos (luz y calor) que se pueden medir con CERES, y otros componentes como conducción, convección y evaporación que también transportan calor desde la superficie de la Tierra. En promedio, y a largo plazo, existe un equilibrio en la cima de la atmósfera. La cantidad de energía que entra (del sol) es la misma que la que sale (del reflejo de la luz solar y de la emisión de radiación infrarroja) (Figura 5).

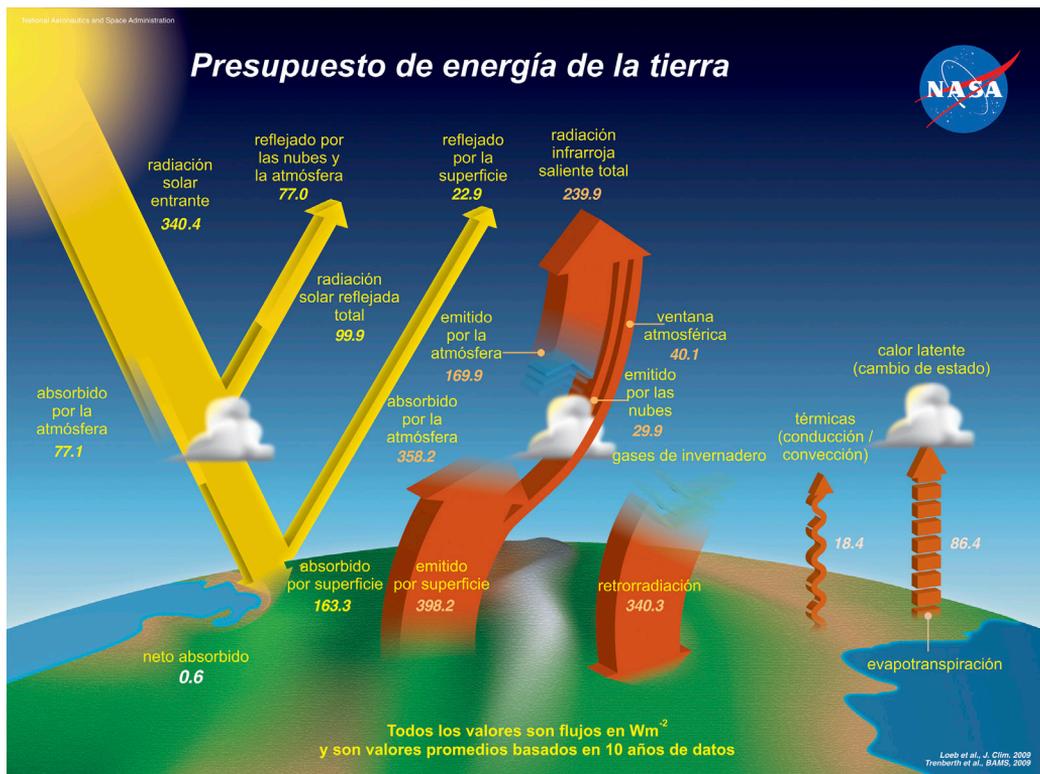
Variabilidad natural y antropogénica

Cada una de las componentes climáticas tiene su propia variabilidad natural, es decir, se comporta dentro de unos patrones de variación característicos para reajustarse a un equilibrio del sistema climático. La variabilidad natural se refiere a las fluctuaciones de origen no-antrópico de una variable en torno a su media climática. Por tanto, se pueden explicar perfectamente por procesos externos (e.g. cambios orbitales que influyen en la intensidad de la radiación solar) e internos (como el acoplamiento entre subsistemas, e.g. atmósfera-hidrosfera) del sistema climático. Nuevamente, esta variabilidad natural se puede observar en diferentes escalas temporales: diaria, estacional, interanual, decadal, secular, etc. Por tanto, forzantes

climáticos pueden ser las variaciones en la luminosidad solar, los aerosoles (volcanes), y los cambios en la órbita terrestre.

Las forzantes antropogénicas son aquéllas que tienen que ver con la actividad humana, y por tanto no son naturales. Se conocen como antropogénicas. Aquí englobaríamos la emisión de gases de efecto invernadero como el CO_2 , el metano (CH_4), y los óxidos nitrosos derivados del uso de los combustibles fósiles.

FIGURA 5
Promedio anual del balance de energía en la Tierra



Fuente: Adaptado de Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) - https://web.archive.org/web/20140421050855/http://science-edu.larc.nasa.gov/energy_budget/

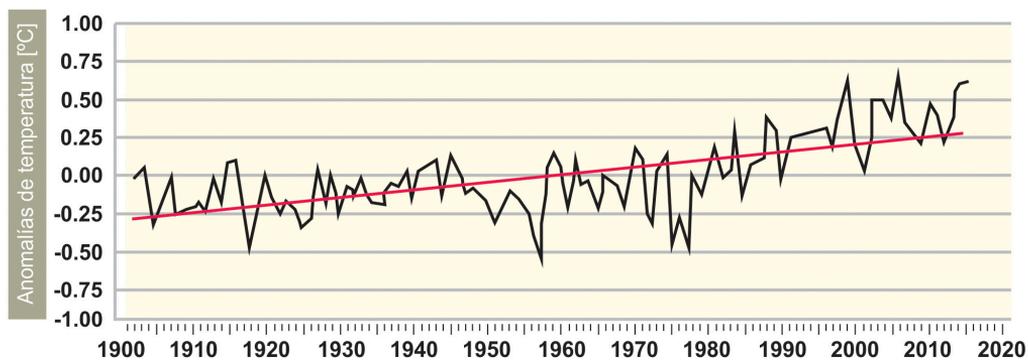
3.2.4 Variabilidad observada de la temperatura

Por los gases de efecto invernadero como el CO_2 y el vapor de agua, la temperatura en la superficie de la Tierra se mantiene en rangos que hacen posible la vida. Sin ellos, las temperaturas serían varias decenas de grados más bajas. No obstante, si la concentración de estos gases aumenta desmesuradamente, como está ocurriendo, provoca un calentamiento

a escala global. Una de las principales consecuencias de las actividades antrópicas es el cambio en la composición atmosférica que se ha estado produciendo desde la revolución industrial (mediados del siglo XIX) hasta la actualidad. El desarrollo de la industria con la entrada de máquinas y la electricidad supuso un aumento continuo del consumo energético hasta el día de hoy. Desde principios del siglo XX, las fuentes de energía más utilizadas han estado basadas en la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) con la liberación de CO_2 (sobre todo, y otros gases) a la atmósfera, de modo que su concentración va aumentando con el paso de los años. Una de las evidencias del cambio climático es la tendencia creciente con una correlación positiva entre el aumento de la temperatura media global y la concentración de dióxido de carbono.

Denominamos anomalía climática de una variable, e.g. temperatura, a la diferencia entre el valor registrado en un año y un promedio de referencia, típicamente en un período de 30 años. En la Figura 6 se representa la serie de anomalías de temperatura media anual en el hemisferio sur. La recta obtenida mediante regresión lineal de la curva de temperatura, que cubre el intervalo 1901-2015, se representa en rojo. Su pendiente, de $0,05^\circ\text{C/año}$, no implica que cada año haya sido más cálido que el anterior. Este resultado sólo indica que, en promedio, la temperatura media anual en el hemisferio sur ha aumentado aproximadamente media decima de grado cada año o, lo que es lo mismo, que en poco más de un siglo la temperatura media anual ha aumentado aproximadamente medio grado.

FIGURA 6
Temperatura media anual en el hemisferio sur



Nota: En gris, anomalías de temperatura media anual en el hemisferio sur según datos de CRU TS3.23 en el intervalo 1901-2015. En rojo, recta que mejor se ajusta a los datos.

Fuente: Fortuny y Sola, 2019. Cambio climático. Enero 2019

<https://es.scribd.com/document/468399768/T4-Cambio-clima-tico-ene-2019>

A largo plazo, podemos hablar de cambio climático antropogénico. A nivel planetario se pueden citar las siguientes evidencias: aumento de la temperatura global en más de 1° C en promedio desde finales del siglo XIX; el mayor calentamiento se ha producido en últimas décadas; los océanos se han calentado; el nivel del mar ha aumentado; se observa freshening o desalinización por ingreso de agua dulce del deshielo de los glaciares.

3.2.5 El cambio climático antropogénico y algunos de sus efectos en el océano

Acumulación de calor

El calor que se irradia desde la atmósfera es absorbido principalmente por el océano, debido a que el calor específico del agua es mayor que el de la tierra. Por ello, el océano tiene una capacidad termorreguladora.

El Océano Austral rodea la Antártida hasta los 60°S. En las últimas décadas, se ha vuelto menos salado y se ha calentado aproximadamente al doble de la tasa global de los océanos como resultado del cambio climático por las emisiones de GEI y el agotamiento de la capa de ozono y recientemente se han mostrado evidencias utilizando modelos climáticos, con datos de la red mundial de sensores Argo flotantes oceánicos y registros anteriores. Esta es la primera vez que se encuentra una conexión de este tipo específicamente para el Océano Austral.

Los océanos son conocidos como los mayores sumideros de carbono, por lo que son clave para mitigar los efectos del cambio climático. El Océano Austral es uno de los sumideros de carbono más prolíficos, ya que absorbe casi la mitad de la cantidad total de CO₂ antropogénico de todos los océanos. A medida que la capacidad del océano para absorber CO₂ disminuye, las temperaturas globales podrían aumentar y conducir a extremos climáticos más intensos, como olas de calor y eventos de precipitación más fuertes.

Cambios en la circulación

Uno de los procesos biogeoquímicos más afectados por el cambio climático es el de la circulación oceánica, horizontal y verticalmente. Por un lado, con el calentamiento, la circulación se está ralentizando, lo que implica que aumenta la estratificación de la columna de agua, con lo cual llegan menos nutrientes a la superficie y el fitoplancton disminuye. Por otro lado, un océano más cálido en regiones muy productivas también podría implicar un aumento de fitoplancton, y cambios regionales en la composición, cantidad y distribución de las comunidades de microorganismos marinos que colorean el agua.

Acidificación

El mar es un medio básico, es decir, su pH es generalmente superior a 7. En la zona ecuatorial, los valores de pH son cercanos a 8, y este valor se eleva gradualmente a medida que nos acercamos a las regiones polares. Existe una relación entre aguas marinas más frías y pH

mayores, las cuales albergan una mayor cantidad de vida marina. Cuando el CO_2 es absorbido por el agua de mar, se producen reacciones químicas que reducen el pH del agua de mar, la concentración de ion de carbonato y la saturación de minerales de carbonato de calcio de importancia biológica, reacciones que determinan la “acidificación del océano”. Los minerales de carbonato de calcio son las unidades de construcción de los esqueletos y conchas de muchos organismos marinos. En las áreas donde la mayor parte de la vida se congrega en el océano, el agua de mar está sobresaturada con minerales de carbonato de calcio. Esto significa que hay muchos “bloques de construcción” de carbonato cálcico para que los organismos calcificantes construyan sus estructuras esqueléticas y sus conchas. Sin embargo, la continua acidificación del océano está causando que muchas partes del océano se vuelvan poco saturadas con estos minerales, lo que probablemente afectará la capacidad de algunos organismos para producir y mantener sus conchas. Las proyecciones futuras indican que los océanos continuarán absorbiendo CO_2 , lo que aumentará aún más la acidez del océano.

3.2.6 Modelos climáticos computacionales

¿Cómo se pueden realizar las proyecciones futuras del cambio climático? Mediante modelos computacionales. Éstos permiten, por ejemplo, comparar qué les ocurre a las variables climáticas del modelo en dos situaciones: tomando en cuenta los forzamientos externos observados desde la revolución industrial, y si no lo hacemos. Realizar varias simulaciones con un mismo modelo y utilizar distintos modelos climáticos nos ayuda a conocer la incertidumbre asociada a nuestras conclusiones. No obstante, para que puedan incluirse en un mismo estudio simulaciones de distintos modelos es necesario que las simulaciones realizadas con ellos se lleven a cabo siguiendo una serie de parámetros comunes. Esto se coordina a nivel internacional, por ejemplo, en el marco del IPCC. Algunas de estas directrices son: las condiciones iniciales que se deben utilizar, los valores de forzamientos externos que los modelos deben incorporar, y los escenarios que se deben utilizar para realizar proyecciones futuras.

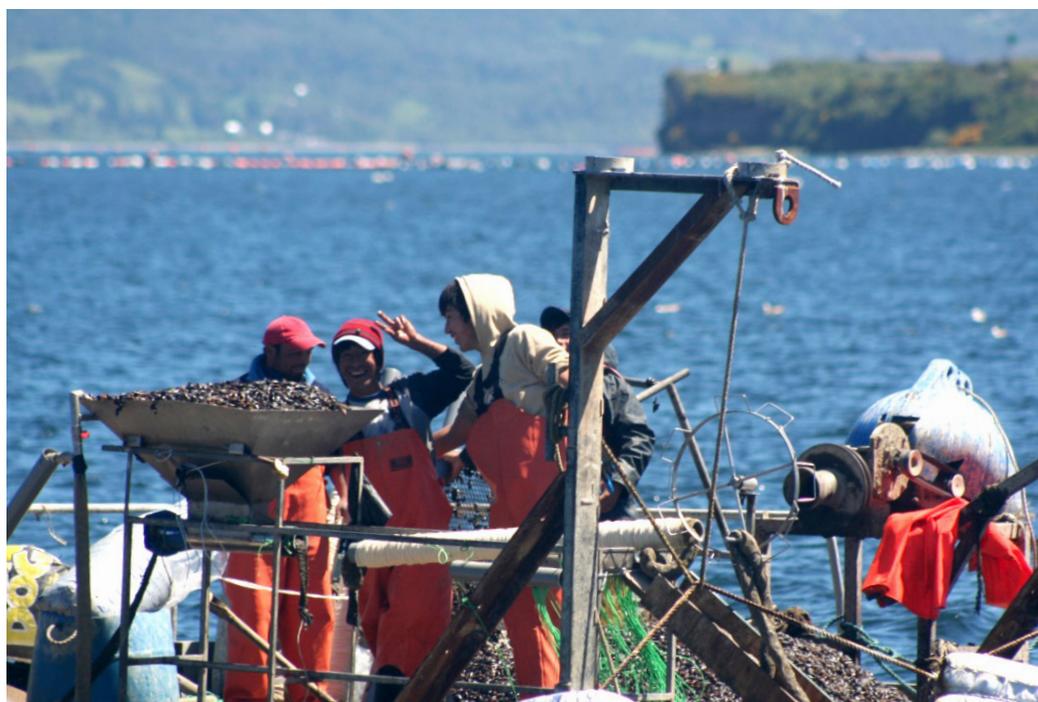
Los modelos climáticos computacionales permiten realizar detección y atribución del cambio climático. La detección implica la identificación de anomalías de variables climáticas fuera del rango típico de variabilidad natural, obtenida de las simulaciones generadas a partir de condiciones preindustriales. Por otro lado, la atribución del cambio climático se logra cuando estas anomalías fuera del rango de variabilidad natural son asociadas mediante mecanismos de causalidad a forzamientos externos, en particular los antropogénicos.

La modelación climática ha servido para generar resultados científicos como los expuestos en el quinto informe del IPCC, de los cuales compartimos aquí una síntesis.

Respecto al clima histórico, se observa que la temperatura global media sobre la Tierra se mantuvo dentro del rango de variabilidad natural hasta aproximadamente la década de 1960. A partir de entonces, el calentamiento sobre todos los continentes es detectable y atribuible a forzamientos externos. Específicamente, es *muy probable* que este fenómeno sea consecuencia del aumento en la concentración de gases de efecto invernadero y otros forzamientos

antropogénicos. En particular, se estima que del calentamiento total observado entre 1951 y 2010, cambios de $+0,5/+1,3$ °C son atribuibles a los gases de efecto invernadero, cambios de $-0,6/+0,1$ °C son atribuibles al efecto de los aerosoles, cambios de $-0,1/+0,1$ °C son atribuibles a forzamientos naturales, y cambios de $-0,1/+0,1$ °C son atribuibles a variabilidad natural. Además, también se considera *muy probable* la influencia de los forzamientos antropogénicos sobre el aumento en la frecuencia y la intensidad de episodios de temperaturas extremas y en el aumento en la ocurrencia de olas de calor. Es *probable* que los forzamientos antropogénicos hayan alterado el ciclo del agua, provocando aumentos del contenido de humedad de la atmósfera, cambios de los patrones de precipitación a escala global, aumento de la ocurrencia de precipitaciones extremas, y cambios en la salinidad del océano. También es *muy probable* que fenómenos observados en las últimas décadas, tales como aumento del nivel del mar, la pérdida de hielo del mar Ártico y a la reducción en el manto de nieve en primavera en el hemisferio norte tengan causas antropogénicas.

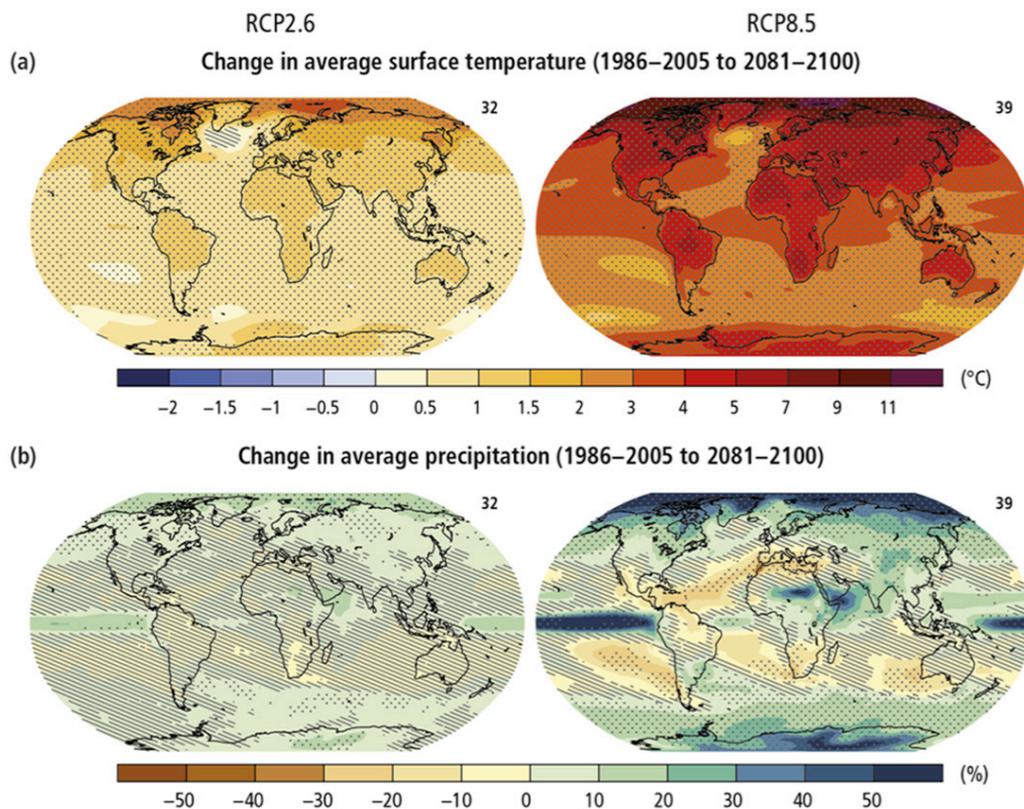
Como muestra la Figura 7, la modelación climática permite obtener proyecciones futuras del cambio climático; específicamente, estimar las variaciones de la temperatura y la precipitación hacia el periodo 2081-2100 respecto al periodo 1986-2005. Además, este ejercicio se puede realizar bajo dos escenarios de emisiones de GEI: uno moderado (RCP2.6) y uno extremo (RCP8.5). En general, se aprecia que los cambios son más evidentes en el segundo escenario. La temperatura tiende a mostrar un calentamiento generalizado a nivel global, pero resaltan destacadas particularidades regionales. En el caso de la precipitación, observamos una proyección más diferenciada: mientras ciertas regiones, como los trópicos, tienden a volverse más lluviosas, otras, como los subtrópicos, muestran una tendencia al secamiento.



Siembra de mejillones, región de Los Lagos

FIGURA 7

Proyecciones de cambio de la temperatura superficial y precipitación en el periodo 2081-2100 con respecto al periodo 1986-2005 bajo dos escenarios de emisiones de GEI empleados por el IPCC



Nota: Proyecciones de cambio de la temperatura superficial (arriba) y precipitación (abajo) en el periodo 2081-2100 con respecto al periodo 1986-2005 bajo dos escenarios de emisiones de GEI empleados por el IPCC (izquierda: RCP2.6, moderado y derecha: RCP8.5, extremo).

Fuente: IPCC, 2014. Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf

3.2.7 Cambio climático: mitigación y adaptación

Con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático, debemos ser capaces, como Humanidad, de reducir las emisiones de GEI. Para transitar hacia un desarrollo sustentable, debemos incidir en las actividades humanas, en términos ambientales y económicos, a diferentes escalas. Éstas contemplan desde iniciativas individuales –como reciclar o usar menos

la locomoción privada a motor– hasta medidas de mayor alcance implementadas a nivel local, regional, y nacional en diferentes sectores de actividad –como pesca, agricultura, acuicultura, e industria–. Además, las acciones para mitigar el cambio climático se complementan con el conocimiento científico para ayudar a enfrentar sus efectos y adaptarse a un futuro incierto.

3.3 Módulo 3: Aspectos generales de gobernanza

El objetivo de este módulo es analizar el concepto de gobernanza y el rol del Estado para articular actores en el contexto de cambio climático.

3.3.1 ¿Qué es la gobernanza?

El concepto de gobernanza constituye un cambio importante en la discusión normativa sobre el rol del Estado en un mundo cada vez más complejo. Al mismo tiempo, su uso en diversos contextos y sectores ha generado múltiples definiciones. Para nuestros fines, trabajaremos a partir de la definición Renate Mayntz (2006), quien indica que la gobernanza se refiere a una nueva manera de gobernar donde diversos actores públicos y privados buscan lograr el interés público a través de la colaboración y coordinación basadas en reglas y acuerdos, complementando los procesos políticos y económicos tradicionales. Consta de tres elementos:

- a) Normas y reglas

Toda sociedad desarrolla maneras de responder a problemas colectivos, generando normas informales y reglas formales que estructuran el comportamiento de sus miembros. Autores como Elinor Ostrom (1990), en su definición de gobernanza, enfatiza las normas sociales y reglas definidas colectivamente para regular la conducta individual o grupal. Éstas puedan ser formales (expresadas en leyes o documentos oficiales) y/o informales (acuerdos y normas de comportamiento respetados por la mayoría de una comunidad). Las normas y reglas son necesarias para la convivencia porque favorecen la predictibilidad del actuar humano a través del establecimiento de respuestas conocidas a eventos y contextos similares. En especial, las normas informales facilitan la convivencia y la cooperación entre las personas; y acuerdos entre actores ofrecen flexibilidad cuando están basados en comunicación y confianza interpersonal. Así, un pilar esencial para la gobernanza es fortalecer el nivel de confianza mutua entre las personas y, en especial, confianza que los otros cumplirán con las reglas y normas requeridas (Ostrom, 2005).

Para visibilizar que las reglas permitan responder a problemas colectivos, pero también asignar autoridad y responsabilidad, se sugiere hacer referencia a los indicadores de gobernanza definidas por el Banco Mundial. Estos indicadores enfatizan el rol del Estado para asegurar el estado de Derecho y, en especial, la calidad de las reglas formales que estructuran la economía y las relaciones sociales. También, deben asegurar la eficiencia y efectividad del

actuar público, incluyendo la importancia de transparencia, descentralización, equidad y participación para favorecer la confianza de la ciudadanía en la capacidad del Estado de gobernar y la legitimidad de los gobiernos a partir de su efectividad.

b) Coordinación y colaboración con actores no gubernamentales

Debido a los problemas complejos que desafían la capacidad de todos los Estados, se visibiliza la necesidad que el Estado coordine y colabore con actores no gubernamentales a través de un espacio formal de negociación y decisión para definir respuestas a problemas. Para autores como Emerson y Nabatchi (2015) y Aguilar (2007), gobernanza se refiere a los arreglos que integran a diversos actores involucrados para definir colectivamente soluciones a un problema. Estos procesos para la toma de decisión y gestión son establecidos *ad hoc*. Son público-privados e involucran una diversidad de grupos de interés: productivos, de la sociedad civil, actores de conocimiento; organismos públicos, distintos niveles de gobierno, entre otros.

Para visibilizar la gobernanza como una solución colectiva y participativa, se sugiere hablar de la Tragedia de los Comunes o “Carrera Olímpica” en la actividad pesquera producida cuando domina la lógica individualista en relación con los recursos naturales. Como consecuencia, la sustentabilidad ecológica y económica de la pesca dependerá cada vez más de la colaboración entre individuos y la definición de objetivos bien planteados a largo plazo, generando nuevas normas sociales para orientar la explotación desde una perspectiva sustentable. El cambio climático complejiza este desafío.

c) Gestión sustentable como interés público

La gobernanza se refiere a una gestión que se mantiene en el tiempo porque se basa en normas y una visión compartida del futuro. Donde no existen acuerdos, la gobernanza implica un proceso negociador entre las diferentes partes interesadas sobre las maneras de funcionar y sobre los proyectos futuros. Como negociación voluntaria entre actores heterogéneos con diversos fines, los acuerdos buscan resolver problemas reconocidos como compartidos con una distribución de costos y beneficios. Aunque existen confrontaciones y diferencias, también existen ciertos puntos en común y un interés de superar los conflictos que bloquean las soluciones. Distintos estudios han mostrado mayor incorporación de acciones para la adaptación en los territorios más afectados por cambio climático.

Para visibilizar que la gobernanza se exprese en planes con compromisos por parte de las distintas partes, es posible referirse a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y los compromisos que cada país adopte. En particular, se sugiere enfatizar los distintos procesos a negociar y coordinar los compromisos adquiridos por los grupos de interés.

3.3.2 Gobernanza internacional para la adaptación al cambio climático

El concepto de gobernanza internacional (global) emerge con el fortalecimiento de organizaciones inter-gubernamentales como los bancos multilaterales (Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo), organizaciones de las Naciones Unidas (ONU, UNESCO, FAO) a partir de la creciente interdependencia de los Estados. Su fortalecimiento se debe al reconocimiento por parte de los Estados (especialmente de tamaño mediano) de la necesidad de mayor coordinación frente a amenazas a la seguridad y paz de los países, como son terrorismo, contaminación, migraciones, crimen organizado, entre otros.

Así, la gobernanza internacional se refiere a la forma de gobernar establecida por una organización inter-gubernamental para responder a problemas transnacionales. Dicho concepto analiza principalmente la cooperación entre Estados independientes, pero también de actores no gubernamentales. Como en toda forma de gobernanza, la participación es voluntaria y su legitimidad depende de su efectividad de resolver problemas colectivos de manera justa. Para Finkelstein (1995), gobernanza internacional (global) se refiere al acto de gobernar relaciones que trasciende fronteras nacionales, pero sin una autoridad soberana. Se refiere a hacer al nivel internacional lo que los gobiernos realizan en su país.

Debido a la importancia de soberanía del Estado nacional en derecho internacional, cualquier arreglo de gobernanza internacional debe basarse en principios subsidiarios, requiriendo colaboración del nivel nacional y subnacional en el logro de objetivos comunes. Además, la gobernanza internacional presenta al menos dos desafíos más para lograr mayor efectividad: 1) coordinación entre las distintas organizaciones internacionales gubernamentales para lograr mayor coherencia; y 2) instrumentos efectivos de control, rendición de cuentas y cumplimiento de los compromisos internacionales por parte de cada Estado (O'Campo, 2015).

Para visibilizar la importancia de la coordinación internacional para enfrentar temas transnacionales, se sugiere ilustrar con ejemplos relacionados con la adaptación al cambio climático y, en particular, para la difusión de conocimiento y facilitar el aprendizaje colectivo, favoreciendo mayor capacidad de adaptación. También se debe visibilizar la flexibilidad que cada país tiene para determinar cómo avanzar hacia los objetivos de política, generalmente definidos en los planes de acción y otros instrumentos.

3.3.3 Gobernanza nacional del sector pesca y acuicultura

La FAO (2017), define la gobernanza del sector como el conjunto de procesos por los que un país maneja sus recursos en el sector pesca y acuicultura. Incluye la forma en que los distintos actores participan en la toma de decisión y en su implementación, la responsabilidad de las autoridades ante la comunidad y cómo se aplica y fiscaliza el respeto a la regulación. Una buena gobernanza es una condición necesaria para que el sector alcance su potencial de crecimiento, asegurando su orden y sustentabilidad.

A partir del marco planteado en FAO (2017), se sugiere realizar una revisión tanto del marco institucional como las reglas informales que estructuran la pesca y la acuicultura como actividad. La buena gobernanza depende del marco institucional, el cual debe contar con incentivos para el desarrollo sustentable, la coordinación y estándares efectivos y conocidos. Un segundo elemento se refiere al actuar del Estado e incluye fiscalización adecuada, transparencia en el sector público, planificación territorial participativa, mecanismos para conciliar diversos intereses y descentralización administrativa.

3.3.4 Gobernanza de sistemas socio-ecológicos

En contraste con las concepciones de gobernanza centrado en el Estado, el enfoque de Análisis y Desarrollo Institucional (IAD) de Ostrom (2005; 2009) aplica el concepto para visualizar a los seres humanos como parte de un sistema integrado de múltiples elementos: ecológicos, sociales, culturales, políticos y tecnológicos, entre otros. Desarrolla el concepto de sistema socio-ecológico donde la gobernanza corresponde al conjunto de organizaciones y reglas formales e informales utilizadas para gobernar el uso de los recursos naturales. Se basa en una perspectiva interdisciplinaria y una visión holística que analiza cómo las interacciones influyen en la dinámica de todo el sistema, entendido como un territorio.

Dicha perspectiva se visibiliza como distintas redes formales e informales de interacciones establecidas entre los actores involucrados y los recursos naturales. Para caracterizar la gobernanza de un sistema socio-ecológico, hay tres componentes centrales: el ecosistema y sus recursos; el sistema social y sus integrantes; y las interacciones de los usuarios con el ecosistema. En este contexto, es fundamental la percepción de legitimidad y efectividad de las reglas por parte de los actores.

Para visibilizar los desafíos involucrados en la gestión sustentable de los recursos naturales como también de resolver los conflictos que surgen sobre su uso, se sugiere incluir estudios de casos. Por todo lo anterior, se entiende que la gobernabilidad de una pesquería es una reflexión de la viabilidad de su estructura de gobernanza y que mayor gobernabilidad se asocia con la gestión sustentable del ecosistema, la cual depende de la coordinación y colaboración de los distintos actores involucrados. En el caso de la acuicultura, la estructura de gobernanza involucraría los distintos usuarios del ecosistema acuático. En ambos casos, es el ecosistema que define los límites del sistema socio-ecológico.

3.3.5 Integrandgo gobernanza internacional, nacional y territorial

Se cierra con el concepto de gobernanza policéntrica, enfatizando cómo cada nodo (centro) de gobernanza actúa con cierta independencia de otros elementos, pero al mismo tiempo debe tener la capacidad de ajustarse mutuamente para (re)ordenar sus relaciones dentro de un sistema general de reglas (Ostrom, 2005). Al mismo tiempo, gobernanza policéntrica requiere una distribución de poder con coordinación efectiva entre varios centros y niveles de autoridad.

Referencias

- Aguilar, L. F.** 2007. "El aporte de la política pública y de la nueva gestión pública a la gobernanza", *Revista del CLAD Reforma y Democracia* 39: 5-32.
- Emerson, K. & Nabatchi, T.** 2015. Evaluating the Productivity of Collaborative Governance Regimes: A Performance Matrix, *Public Performance & Management Review* 38(4): 717-747, DOI:10.1080/15309576.2015.1031016
- FAO.** 2017. Aquaculture development 7: Aquaculture governance and sector development. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5. Suppl. 7. (También disponible en www.fao.org/3/a-i7797e.pdf).
- Finkelstein, L.S.** 1995. What Is Global Governance?. *Global Governance*, 1(3), 367-372.
- Mayntz, R.** 2006. Governance in el Estado Moderno. *Revista POSTData: Revista de Reflexión y Análisis Político* 11: 103-117.
- O'Campo, J.A.** 2015. *Gobernanza Global y Desarrollo: nuevos desafíos y prioridades de la cooperación internacional*. 1era Edición Buenos Aires: Editorial Siglo Veintiuno Editores, 288 págs.
- Ostrom, E.** 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. New York: Cambridge University Press
- Ostrom, E.** 2005. *Understanding Institutional Diversity*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Ostrom, E.** 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science* 325 (5939): 419-22.



Caleta Los Verdes, Iquique, región de Tarapacá

3.4 Módulo 4: Introducción a la vulnerabilidad

3.4.1 ¿Cuál es el contexto para comprender el concepto de vulnerabilidad y riesgo al cambio climático?

Las Naciones Unidas designaron el período entre 1990 y 1999 como el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN). Las actividades desarrolladas en este contexto condujeron a plantear que el riesgo se convierte en desastre cuando las sociedades no están preparadas, o están innecesariamente expuestas, o son incapaces de responder a un daño inminente, o no es capaz de tomar medidas rápidas y eficaces.

Posteriormente, en el marco de la Década de Educación para el Desarrollo Sustentable (2005-2014) de la UNESCO, se establece que los grupos socioeconómicos más vulnerables son los que más sufren las consecuencias de las catástrofes; y por eso, es que los desastres son claramente relacionados con el desarrollo sostenible. En efecto, el desarrollo sostenible implica nuevos desafíos, ya que la propia creatividad humana genera una serie de riesgos antropogénicos que son concurrentes con los riesgos naturales, en lo que se ha denominada la sociedad de riesgo. De esta manera, los riesgos no desaparecen, más bien van cambiando según el desarrollo.

En este contexto, la clave para la reducción del riesgo ante amenazas de desastres es un enfoque integral que toma en cuenta los aspectos vulnerables, la planificación y la preparación.



© Doris Soto

Mariscadoras de Pelluín, región de Los Lagos

3.4.2 Conceptos claves

Se entiende por riesgo climático a la probabilidad de que algo malo ocurra asociado a los impactos de las amenazas climáticas. Los eventos climáticos adversos, a su vez, cambian en magnitud, frecuencia y duración mientras la sociedad se desarrolla. De tal manera, que para resguardar el desarrollo sustentable es necesario gestionar el riesgo asociado a las amenazas climáticas en un mundo cambiante.

El riesgo puede ser entendido como la probabilidad de que algo malo ocurra por la magnitud del impacto donde la magnitud del impacto puede separarse en dos componentes, lo que se puede perder (ej. Biomasa de pescado por capturar) y aspectos o condiciones que incrementarían o reducirían la pérdida. El informe científico AR5 (IPCC, 2014) propone que el Riesgo se define como el producto entre la Exposición (Lo que se puede perder) la Amenaza (factores o forzantes asociados al cambio climático) y la Vulnerabilidad donde esta última está compuesta por dos elementos; la Sensibilidad (aquellos elementos intrínsecos o de gestión de un recurso que pueden incrementar la pérdida) y capacidad de adaptación (FAO, 2016).

En el ámbito de cambio climático se han usado diferentes aproximaciones a la evaluación de riesgo y de la vulnerabilidad y ello a veces puede llevar a confusión por lo cual describimos aquí brevemente algunas aproximaciones y en particular se describe el análisis de vulnerabilidad que se utilizó en el ejercicio práctico, correspondiendo al planteamiento de IPCC (2001).

Este fue uno de los primeros intentos de abordar los efectos del cambio climático y como reducirlos a través de la evaluación de la vulnerabilidad socio-ecológica (IPCC, 2001). En particular, se realizó una primera evaluación de la vulnerabilidad de la pesca a nivel global (Allison *et al.*, 2009) y también se ha replicado en acuicultura (Handyside *et al.*, 2017; De Silva y Soto, 2009). *La vulnerabilidad socio-ecológica es la propensión que tiene un sistema (social y ecológico) de ser dañado por una amenaza real o esperada.* Esta aproximación reconoce que el Cambio Climático es una amenaza, y aunque en parte su origen es antropogénico, no se tiene la capacidad de reducir significativamente la amenaza misma (aun cuando la estrategia de mitigación o de reducción de los gases de efectos invernaderos podría reducirla). Por ello, es preferible concentrarse en reducir la vulnerabilidad a través del aumento de la capacidad de adaptación de la sociedad o de un sistema socio-ecológico.

3.4.3 Vulnerabilidad socio-ecológica al cambio climático

La evaluación de la vulnerabilidad socio-ecológica (EV) debida al cambio climático, permite además discutir y comenzar a comprender la relación entre los forzantes biofísicos y los componentes sociales y económicos de un ecosistema. La EV en pesca y acuicultura, tiene por objeto asistir en las decisiones políticas para responder adecuadamente a los desafíos del cambio climático considerando los cambios proyectados en el clima local, nacional, regional y cómo podrían afectar a los recursos, su entorno (dimensión ecológica) y a las actividades humanas (dimensión social). Para ello, se debe considerar la exposición o susceptibilidad

del sistema natural, los efectos en el sistema socioeconómico (evaluación de impactos), y/o cómo las acciones y cambios en el comportamiento humano podrían reducir los efectos adversos del cambio climático en esos sistemas (evaluación de la adaptación, o una medida de la capacidad de adaptación).

El esquema de trabajo para la evaluación de la vulnerabilidad depende del sistema a evaluar, los forzantes, las respuestas (efectos), y las acciones (adaptación). Es importante que cada evaluación sea realizada en la escala espacio-temporal relevante, y saber que los resultados serán apropiados solamente en esas escalas. El cambio climático plantea un desafío, ya que en muchos casos la frecuencia de los eventos extremos está determinada por las condiciones climáticas, pudiendo hacerse más recurrentes en el futuro, aumentando con ello el nivel de vulnerabilidad de los sistemas.

Hay que recordar que la vulnerabilidad es la susceptibilidad a un daño potencial al que está expuesto un sistema frente a una amenaza, o es incapaz de enfrentar los efectos adversos del cambio climático. Según el IPCC en el 2001, la vulnerabilidad se entendía como “una función del carácter, la magnitud y la tasa de variación climática a la que está expuesto un sistema, su sensibilidad, y su capacidad de adaptación.

3.4.4 Componentes de la vulnerabilidad

Los componentes de la vulnerabilidad son: i) la exposición, ii) la sensibilidad, y iii) la capacidad de adaptación o resiliencia.

El impacto potencial está definido por la exposición y la sensibilidad, mientras que la capacidad de adaptación disminuye el impacto potencial. En consecuencia, mientras mayor sea la capacidad de adaptación de un sistema, tendrá menos impacto potencial y por lo tanto será menos vulnerable.

La exposición corresponde al conjunto de condiciones climáticas que ponen a un sistema en una situación de peligro o de daño potencial. La sensibilidad corresponde al grado al cual el sistema es afectado por el cambio climático, en este caso, sería el sistema social.

Desde el punto de vista del sector pesca y acuicultura, la exposición puede ser definida como la naturaleza y grado en que los sistemas de producción de la pesca y acuicultura están expuestos al cambio climático. En tanto, la sensibilidad puede ser definida como el grado con que la economía y las personas pueden ser afectadas por cambios relativos en las pesquerías (dependencia del sector).

La capacidad de adaptación tiene que ver con la resiliencia, es decir la capacidad del sistema de anticiparse a impactos, absorber cambios y es principalmente una función de la dimensión humana; i.e., de los individuos y grupos que actúan para administrar y gestionar el sistema. Por supuesto en la dimensión ecológica, los sistemas naturales también tienen una capacidad de adaptación e influir en la resiliencia del sistema.

3.4.5 ¿Cómo se relaciona la vulnerabilidad con el riesgo climático?

El riesgo climático resulta de la interacción entre el clima (tendencias, variabilidad y eventos extremos) con la vulnerabilidad (o susceptibilidad) y la exposición de los sistemas socio-ecológicos. Es decir, los procesos socioeconómicos que incluyen la mitigación y la adaptación, formas de gobernanza y opciones de desarrollo socioeconómico determinan, junto a los cambios en el sistema climático natural, la exposición y la vulnerabilidad. Como se mencionó, los riesgos no desaparecen, más bien van cambiando según el desarrollo.

3.4.6 Consideraciones para medir la vulnerabilidad y contribuir a la adaptación

Para lograr una evaluación integral de la vulnerabilidad se requiere de los siguientes elementos:

Equipos de investigadores y expertos interdisciplinarios: quienes deben establecer los alcances y la definición del proyecto, así como involucrar a los principales actores (tomadores de decisiones, grupos o sectores afectados) del sistema bajo estudio.

Inducción de los actores en cada paso del estudio: quienes participarán activamente en la investigación hasta el punto en que serán ellos los que evalúen y apliquen las medidas que aumentarán su capacidad adaptativa actual y futura.

Estudios de la variabilidad climática del área de estudio: las variaciones del clima son de particular interés para analizar la ocurrencia de eventos extremos.

Medir la vulnerabilidad y la adaptación actual: el análisis se debe realizar considerando las condiciones y la variabilidad climáticas, así como una proyección de la vulnerabilidad y adaptación ante condiciones futuras plausibles.

Analizar la factibilidad de aumentar la capacidad de adaptación: Las medidas de adaptación no constituirán un producto final de los estudios de los impactos ante un posible cambio climático sino más bien una referencia respecto de las posibilidades y estrategias actuales, y del estudio de su viabilidad futura.

Planes de adaptación: implementar las medidas o estrategias de adaptación o incorporarlas a las políticas del sector y en coordinación con otros programas sectoriales (biodiversidad, línea de costa, otros). Esto implica conjuntar los esfuerzos que se están haciendo en esa diversidad de políticas (“mainstreaming”) con el fin de optimizar y hacer coherentes los esfuerzos hasta hoy dispersos.

El desafío mayor se encuentra en la dificultad de definir y limitar los resultados para un sistema socio-ecológico en el que la resolución espacial y temporal se encuentra por debajo de la resolución de lo que se conoce para la región que lo contiene. Una serie de características

particulares podrían determinar condiciones diferentes, de allí la importancia de “reducir la escala” cuando se consideren los resultados de modelos climáticos de gran escala (> 100 km²). A su vez, si la localidad contiene información que pueda ser extrapolable o generalizar los resultados para una región mayor, “aumentar la escala” es también muy importante. La relación entre la variable climática local y la regional es una función multivariada que se espera se mantenga en el futuro. Este es uno de los supuestos importantes de los métodos de reducción de escala (“downscaling”).

La variabilidad climática del área de estudio es otro componente de importancia, ya que dependiendo de la historia climática se podrá indicar si el cambio climático será significativo o importante. El océano tiene como característica un espectro de frecuencia cuya varianza se incrementa continuamente, desde horas hasta escalas de más baja frecuencia, conocido como “ruido rojo”. Esto significa que la variabilidad climática puede incrementarse interanual, bianual, decadal, interdecadal, centenal, y a más largo plazo, e implica que los organismos marinos estén continuamente adaptándose a dicha variabilidad.

Determinar si un sistema marino se está enfriando o calentando, si los vientos se están intensificando o debilitando, si la circulación está cambiando dependerá de la serie de datos histórica con la que se cuenta, y particularmente del periodo en que se medirán las tendencias. Asimismo, la historia de la variabilidad climática de la región bajo estudio es muy importante para detectar eventos extremos. En pesquerías como en acuicultura costera es muy importante la variabilidad El Niño-Oscilación del Sur que se expresa a través de los eventos El Niño y La Niña, y cuya magnitud puede producir tanto impactos negativos como positivos en determinados componentes del ecosistema.

Se destaca que el clima define las condiciones promedio del sistema climático, y que es producto de múltiples interacciones (océano-atmósfera, cubiertas de hielo y nieve, radiación solar, e impactos antropogénicos). De esta manera, un cambio climático se verifica en un cambio en los valores promedios de las variables de interés o bien en sus valores extremos, o bien a través de una tendencia secular. Los modelos climáticos complejos se basan en las interacciones del sistema climático, y lo simulan, más no describen completamente al sistema climático. Los escenarios de cambio climático consideran una serie de actividades humanas como la emisión de gases de efecto invernadero, el uso de combustible de origen fósil, la tala de bosques y uso del suelo, entre otros forzantes. De esta manera, lo que se proyecta es un sistema climático complejo, no-lineal y caótico. Por lo tanto, los escenarios de cambio climático deben ser considerados como el estado plausible del clima de una región según las condiciones iniciales y una serie de supuestos plausibles relacionados con las actividades humanas.

El otro desafío se encuentra en conocer la vulnerabilidad y capacidad de adaptación histórica que ha permitido al sistema ecológico o socio-ecológico en estudio llegar a la situación actual. Se trata de conocer cuáles han sido las estrategias con las que una comunidad o sistema ha podido enfrentar un evento climático desastroso, y/o la capacidad de aplicar medidas que han sido exitosas en otras regiones.

Por las razones expuestas, un estudio de la vulnerabilidad al cambio climático no puede ser resuelto exclusivamente por modelos matemáticos o métodos deterministas. En este contexto, el enfoque metodológico considera una combinación de métodos cuantitativos y cualitativos. Los cuantitativos se basarán en escenarios de cambio climático plausibles, desde métodos incrementales para una variable climática significativa o forzante hasta modelos complejos que simulen un conjunto de propiedades fisicoquímicas. A su vez, los cualitativos son métodos conocidos muchas veces como “basado en indicadores”, y miden la vulnerabilidad a través de promedios o promedios ponderados de los indicadores o de las variables de interés que han sido seleccionadas. La magnitud del impacto se puede evaluar mediante lo que se conoce como “juicio experto”, quienes analizarán y evaluarán si los impactos serán bajos, moderados, o altos. Esta asignación puede también estar basada en criterios múltiples o con lógica difusa, considerando las percepciones que los actores tienen del problema.

Referencias

- Allison, E.H., Perry, A.L., Badjeck, M-C, Adger, W.N., Brown, K., Conway, D., Halls, A.S., Pilling, G.M., Reynolds, J.D., Andrew, N.L. & Dulvy, N.K.** 2009. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. Journal compilation 2009 Blackwell Publishing Ltd, FISH and FISHERIES.
- De Silva, S.S. y Soto, D.** 2009. El cambio y la acuicultura: repercusiones potenciales, adaptación y mitigación. En K. Cochrane, C. De Young, D. Soto y T. Bahri (eds). Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, No 530. Roma, FAO. pp. 169-236.
- FAO.** 2016 Climate change implications for fisheries and aquaculture: Summary of the findings of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report, by Anika Seggel, Cassandra De Young and Doris Soto. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1122. Rome, Italy. (También disponible en www.fao.org/3/a-i5707e.pdf).
- Handisyde, N., Telfer, T.C. & Ross, L.G.** 2017. Vulnerability of aquaculture-related livelihoods to changing climate at the global scale. *Fish and Fisheries* 18(3):466–488.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** 2001. Cambio climático 2001. Informe de síntesis. Editado por: R.T. Watson Banco Mundial y el Equipo de autores principales. 161 págs.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

3.5 Módulo 5: Metodología para analizar vulnerabilidad

3.5.1 Evaluación de vulnerabilidad: origen y trayectoria del concepto y metodologías

La vulnerabilidad se define como el grado al cual un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos. Es una condición determinada por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una región, sector o grupo social de ser potencialmente afectados. La vulnerabilidad depende del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático y de las variaciones a las que está expuesto un sistema social y/o ecológico (evaluación de amenazas y riesgos como daños potenciales), así como de su sensibilidad (nivel de exposición a estos riesgos) y capacidad de respuesta, recuperación y adaptación (resiliencia). Se distinguen, por lo tanto, cuatro componentes de la vulnerabilidad: las amenazas, el riesgo, la exposición y la resiliencia (Figura 8). Los sistemas con una mayor capacidad de adaptación y bajo grado de exposición/ sensibilidad pueden tolerar mejor los impactos y, por lo tanto, tienen una baja vulnerabilidad (Fuente: Comité Científico COP25, 2019). *Océano y cambio climático: 50 preguntas y respuestas*, Santiago, Chile).

Por otra parte, es relevante entender la vulnerabilidad desde la perspectiva de los sistemas socio-ecológicos puesto que normalmente los “shocks o impactos” se perciben primariamente por sus efectos sociales y económicos. Basándose en una propuesta del IPCC (2001), Allison *et al.*, (2009) definen vulnerabilidad socio-ecológica como una combinación de la exposición extrínseca de los grupos o los individuos o los sistemas socio-ecológicos a un peligro, como el cambio climático, su sensibilidad intrínseca a la amenaza, y capacidad de modificar la exposición a absorber y recuperarse de las pérdidas derivados de los peligros y aprovechar las nuevas oportunidades que surgen en el proceso de adaptación. Así la vulnerabilidad al cambio climático depende de tres elementos centrales: la exposición (E) a los efectos físicos del cambio climático, el grado de sensibilidad intrínseca (S) del sistema de recursos naturales o la dependencia de la economía nacional sobre los beneficios económicos y sociales del sector en cuestión, y la medida en que la capacidad de adaptación (CA) permite compensar los impactos potenciales. Allison *et al.*, (2009) explica también que no existen medidas objetivas y derivadas independientemente de la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, agregando que su relevancia en interpretación depende de la escala de análisis, del sector económico particular bajo consideración y de la disponibilidad de información. La propuesta de Allison *et al.* (2009) ha sido utilizada ampliamente en el sector pesca y acuicultura. González *et al.* (2013) realizan una primera evaluación de la vulnerabilidad de la acuicultura al cambio climático en Chile y utilizan esta metodología. A partir de la propuesta inicial de análisis de vulnerabilidad del IPCC se han generado diversos modelos y aproximaciones, unos enfatizan por ejemplo la exposición del sistema natural ecológico para luego abordar la exposición del sistema productivo. Brugère y De Young (2015) presentan una revisión de metodologías de

análisis en tanto Handyside *et al.* (2017) realizan un análisis global de la vulnerabilidad de la acuicultura por países y separando maricultura, acuicultura costera y de agua dulce. En ese estudio Chile y Noruega aparecen con una alta vulnerabilidad porque la producción está basada en solo dos tipos de recursos.

FIGURA 8
Esquema de análisis de vulnerabilidad socio-ecológica

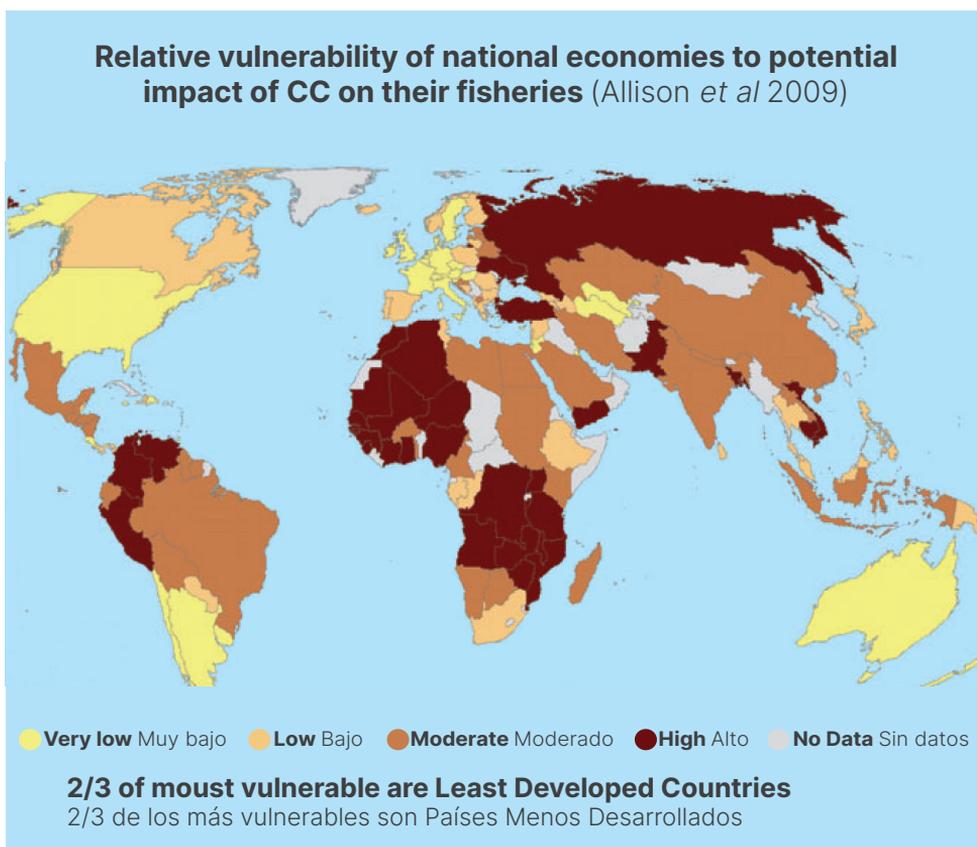


El análisis de vulnerabilidad es especialmente relevante pues permite comprender y abordar la interacción entre los forzantes biofísicos y las respuestas biológicas, ecológicas, sociales y de gobernanza. El valor mismo de vulnerabilidad es relativo a una situación comparativa en el tiempo y en el espacio. Allison *et al.* (2009) comparan la vulnerabilidad de 132 economías nacionales a los posibles impactos del cambio climático en sus pesquerías utilizando un enfoque basado en indicadores (Figura 9a). Países de África central y occidental (por ejemplo, Malawi, Guinea, Senegal y Uganda), Perú y Colombia en el noroeste de América del Sur y cuatro países de Asia tropical (Bangladesh, Camboya, Pakistán y Yemen) fueron identificados

como los más vulnerables. Esta vulnerabilidad se debió al efecto combinado del calentamiento previsto, la importancia relativa de la pesca para las economías y las dietas nacionales, y la capacidad social limitada para adaptarse a los posibles impactos y oportunidades. Muchos países vulnerables también se encuentran entre los países menos adelantados del mundo, cuyos habitantes se encuentran entre los más pobres del mundo y dependen dos veces más del pescado, que proporciona el 27% de las proteínas alimentarias en comparación con el 13% de los países menos vulnerables. Estos países también producen el 20% de las exportaciones de pescado del mundo y tienen una gran necesidad de planificación de adaptación para mantener o mejorar la contribución que la pesca puede hacer a la reducción de la pobreza.

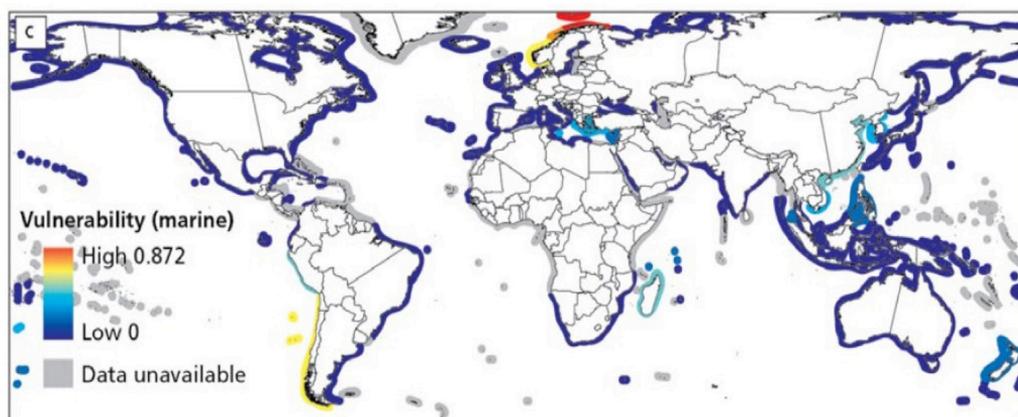
FIGURA 9a

Vulnerabilidad relativa de las economías al impacto potencial del cambio climático sobre sus pesquerías (Allison *et al*, 2009)



Bueno y Soto (2017) y Soto *et al.*, (2019) hacen una evaluación comparativa del análisis de vulnerabilidad de la acuicultura al cambio climático en diversos países y en diferentes circunstancias (Figura 9b).

FIGURA 9b

Vulnerabilidad de la maricultura de diferentes países al cambio climático

Nota: Los colores azules más oscuros representan baja vulnerabilidad en tanto los amarillos y naranjas representan una alta vulnerabilidad. Adaptado de Handyside *et al.* (2017) y Soto *et al.* (2019).

En la siguiente sección se desarrollará un ejemplo concreto y práctico para comprender la aplicación de los conceptos precitados a través de la construcción de una matriz semi-cuantitativa de riesgos para calcular el índice de exposición, así como la estimación de la sensibilidad y la capacidad de adaptación utilizando indicadores económicos y sociales.

3.5.2 Ejemplo de evaluación de vulnerabilidad

Si bien el ejemplo que se describirá a continuación corresponde a un análisis realizado para la salmonicultura, es perfectamente aplicable a un sistema socioecológico asociado a la pesca (pesquería, caleta). Se utilizó este caso de estudio esencialmente porque hay mucha información para numerosos sitios en distintas áreas geográficas, lo que permite construir un análisis más sólido. Este análisis se encuentra disponible en detalle en la publicación de Soto *et al.*, (2019) y un resumen in extenso en español se puede leer en <https://www.incar.cl/wp-content/uploads/2019/06/pb1.pdf>.

Chile es el segundo productor mundial de salmónidos (700 mil toneladas anuales) con un valor de exportación de alrededor de US \$ 4.000 millones (2017), condición que convierte a la salmonicultura en una de las principales actividades económicas del país. En este sentido, la salmonicultura ha creado toda una economía a través del empleo directo e indirecto que encadena en la zona centro-sur de Chile, donde importantes ciudades y comunidades costeras son fuertemente dependientes del sector.

Un ejemplo latente de esta fuerte interdependencia se observó durante el verano y otoño del año 2016, cuando intensas y extensas floraciones de algas nocivas (FANs) produjeron un fuerte impacto en la industria salmonera, así como también en la miticultura y pesquerías costeras (Clément *et al.*, 2016). En efecto, las pérdidas en la producción, el empleo y los medios de subsistencia locales revelaron el alto grado de vulnerabilidad de esta industria y su sistema socioeconómico asociado a la variabilidad y al cambio climático (Bueno & Soto, 2017), especialmente durante la etapa de esmoltificación y engorda realizada en los sistemas costeros de la zona Norte de la Patagonia chilena.

Con el objetivo de evaluar estos impactos y adaptando el modelo de Vulnerabilidad del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (Brugère & De Young, 2015; Handisyde *et al.*, 2017) hemos desarrollado y completado una matriz de vulnerabilidad al cambio climático para el sector salmonero del centro-sur de Chile. Entre las principales características de esta aproximación metodológica destaca el ser una herramienta participativa, simple, flexible y dinámica, que permite identificar puntos clave para reducir su vulnerabilidad. Para tal efecto se diseñaron matrices para evaluar la vulnerabilidad a través de la estimación de índices de Exposición (E), Sensibilidad (S) y Capacidad de Adaptación (CA) (Anexo 2).

El modelo considera la *Exposición (E)* como las amenazas relacionadas con el clima tales como el riesgo de perder biomasa de producción; la *Sensibilidad (S)* como el grado de dependencia económica y social a la industria salmonera; y la *Capacidad de Adaptación (CA)* como todas las medidas y condiciones que permiten a la unidad de gobernanza local prevenir y mitigar los impactos del cambio climático. A nivel temporal, y con el objetivo de proporcionar un marco realista para las discusiones y la comprensión de los actores locales, el análisis de Vulnerabilidad consideró los impactos relacionados con el cambio climático que se producirían en los próximos 20 a 30 años.

A nivel espacial, la evaluación de la vulnerabilidad (VA) se realizó en comunas tipo (n=9) representativas del total de comunas con salmonicultura costera (n=23). La selección de las comunas “piloto” consideró representar adecuadamente las sub-áreas oceanográficas que se generan en las regiones en estudio en base a diferencias entre factores como temperatura, ingreso de agua dulce, influencia oceánica y ventilación.

Reconocemos que realizar un análisis de vulnerabilidad a nivel de comuna es un constructo oceanográfico artificial, sin embargo, al ser éstas las unidades administrativas encargadas de optar y aplicar decisiones políticas y de gobernanza es posible vincular los riesgos a la toma de decisiones local al tiempo que mejoramos la comprensión y la participación de los interesados.

En concreto, la Exposición (E) se calculó a través de una evaluación semi-cuantitativa de riesgos ejercidos sobre la producción, producto de las principales amenazas relacionadas con el cambio climático. Esta evaluación se realizó en base a la recopilación de información oceanográfica, meteorológica e hidrológica disponible y a través de consultas ampliadas a expertos. Las amenazas incluyeron patrones de variación (eventos puntuales y tendencias) de

temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, así como también la ocurrencia de FANs, eventos climáticos extremos, impactos de enfermedades y parásitos, y la acidificación del océano.

El análisis de riesgo provee un marco conceptual que permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento negativo debido a una amenaza identificada (para un objetivo general o específico) en conjunto con la magnitud de su impacto. El concepto de peligro o riesgo se refiere a un agente o evento físico que tiene el potencial de causar daño o menoscabar la capacidad de alcanzar o mantener nuestro(s) objetivo(s) de alto nivel como por ejemplo “lograr la producción acuícola proyectada con el mínimo de mortalidad y en la forma más amigable posible con el ambiente” en un ecosistema o espacio determinado. Un análisis de riesgo busca típicamente responder 4 preguntas:

Análisis de Riesgo

¿Qué puede salir mal?

¿Qué tan probable es que salga mal?

¿Cuáles serían las consecuencias si es que sale mal?

¿Qué se puede hacer para reducir, ya sea la posibilidad o las consecuencias de que salga mal?

Una típica matriz de riesgo semi-cuantitativa es una matriz de 5 x 5 (P x M) donde la probabilidad de ocurrencia de un evento se estima con un puntaje o valoración que va desde 1=raro, 2=muy bajo, 3=bajo, 4= alto y 5 =muy alto. De la misma forma, se puede evaluar la magnitud de su impacto que puede ir desde 1=insignificante, 2=menor, 3= moderado, 4=mayor y 5=catastrófico (Figura 10). Considerando que no siempre se dispone de información cuantitativa deseable, la matriz puede incorporar juicio de expertos y con ello agregar cierto grado de subjetividad al análisis. Este grado de subjetividad se deja registrado como nivel de confianza o certeza de la estimación (alta, media o baja). Para reducir esta subjetividad es deseable la consulta al mayor número posible de expertos. El conjunto de información cuantitativa disponible y registrada más el juicio de expertos (acuicultores, pescadores, funcionarios públicos, consultores) conforman un valioso proceso participativo y reconocido por los distintos grupos de interés.

FIGURA 10
Matriz de riesgo semi-cuantitativa, aplicable en diversos sectores tanto en pesca como en acuicultura

		MAGNITUD DEL IMPACTO / CONSECUENCIA (M)				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (P)	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

AMENAZA	P Probabilidad de ocurrencia de un evento con consecuencias negativas para nuestro objetivo	M Magnitud de impacto (normalmente equivalente a la biomasa o producción que podemos perder)	P x M Riesgo
A
B
C
Todas las amenazas			RIESGO Total Integrado para una localidad xx

Ejemplo de un tipo de análisis de riesgo posible

Para estimar los valores/puntajes de P y de M utilizamos la siguiente información que también puede ser evaluada con el mismo sistema de puntaje o ponderación.

Para estimar probabilidad de ocurrencia (P) de un evento en el futuro nos basamos en:

- i) La información existente sobre eventos en el pasado/hoy. ¿ha ocurrido antes?, ¿con qué frecuencia? ¿Existe ya una tendencia?
- ii) Lo que sabemos para el futuro basado en modelamiento, proyecciones sinópticas para el CC y sus efectos, etc.

Para estimar la magnitud del impacto (M) nos basamos en:

- i) La biomasa actual, cantidad, número representando el recurso (pesca o acuicultura) que podríamos perder si el evento ocurriera hoy
- ii) Los aspectos de gestión y manejo de la actividad que podrían empeorar o incrementar la magnitud del impacto

Con el objetivo de fundamentar los escenarios climáticos en este ejercicio particular, se optó por utilizar resultados emanados desde el “Estudio de Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XX” desarrollado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile bajo el mandato de la entonces Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), hoy en día Ministerio del Medio Ambiente (ver: <http://dgf.uchile.cl/PRECIS/>). Es recomendable utilizar la mejor información disponible de pronósticos climáticos, idealmente provista por el Estado o instituciones reconocidas.

La evaluación de riesgo (para estimar Exposición) también consideró aspectos de manejo y prácticas productivas que pudiesen variar la magnitud de las amenazas evaluadas, tales como la densidad de cultivo, inyección de oxígeno-airación, sistemas y estrategias de alimentación, características batimétricas y ventilación del sitio de cultivo.

Luego, para asignar magnitud al impacto de los indicadores de riesgo optamos por utilizar la concentración productiva de cada Comuna (toneladas de salmón cosechadas/año/km²). Para esto calculamos la producción promedio del total de centros de cultivo operativos en cada Comuna entre los años 2011 y 2016.

Luego, ponderamos dicha biomasa en función del área marina-costera de cada una de las Comunas destinada al cultivo de salmones y truchas (Agrupación de Concesiones de Salmónidos). De forma indirecta este indicador permitió realizar una estimación de los nutrientes aportados por esta actividad al sistema marino-costero (fracción de alimento no consumido o no asimilado), y que pudiesen exacerbar los riesgos asociados a la variabilidad y cambio climático.

Considerando la evaluación de puntajes de riesgo para todas las amenazas se obtuvo un estimador promedio para todas ellas por comuna (sin ponderar) el cual se normalizo para obtener un indicador que fluctúa entre 0 y 1, siendo 1 la máxima exposición.

Para estimar la Sensibilidad (S) evaluamos entre otros, el empleo directo e indirecto del cultivo de salmónidos y sus contribuciones a los impuestos municipales y con ello se estimó un indicador que también fluctúa entre 0 y 1. Por otra parte la Capacidad de Adaptación (CA) se calculó mediante una serie de indicadores que denotan la preparación comunal a impactos del cambio climático tales como: coordinación interinstitucional, coordinación con el sector privado, sistemas de monitoreo y alerta temprana, zonificación y planificación acuícola basada en el riesgo, existencia de mejores prácticas de manejo, seguro de desempleo, actividades económicas alternativas a la salmonicultura, entre otros. Usando un promedio geométrico se calculó un indicador representativo que también varía entre 0 y 1.

Dentro de los indicadores de capacidad de adaptación, algunos elementos que sobresalen como claves para reducir la vulnerabilidad son la existencia/implementación de sistemas de monitoreo/alerta transparentes y accesibles, y la zonificación/manejo de la salmonicultura basada en riesgos que incluye un mejor manejo de enfermedades y parásitos. También destacaron; la necesidad de mejorar la coordinación interinstitucional y público privada para abordar emergencias y consecuencias, la necesidad de diversificar las actividades productivas entre otros.

Finalmente, las estimaciones de Exposición (E) de cada Comuna fueron vinculadas a sus estimaciones de Sensibilidad (S) y Capacidad de adaptación (CA) en una fórmula simple donde la vulnerabilidad se calcula como:

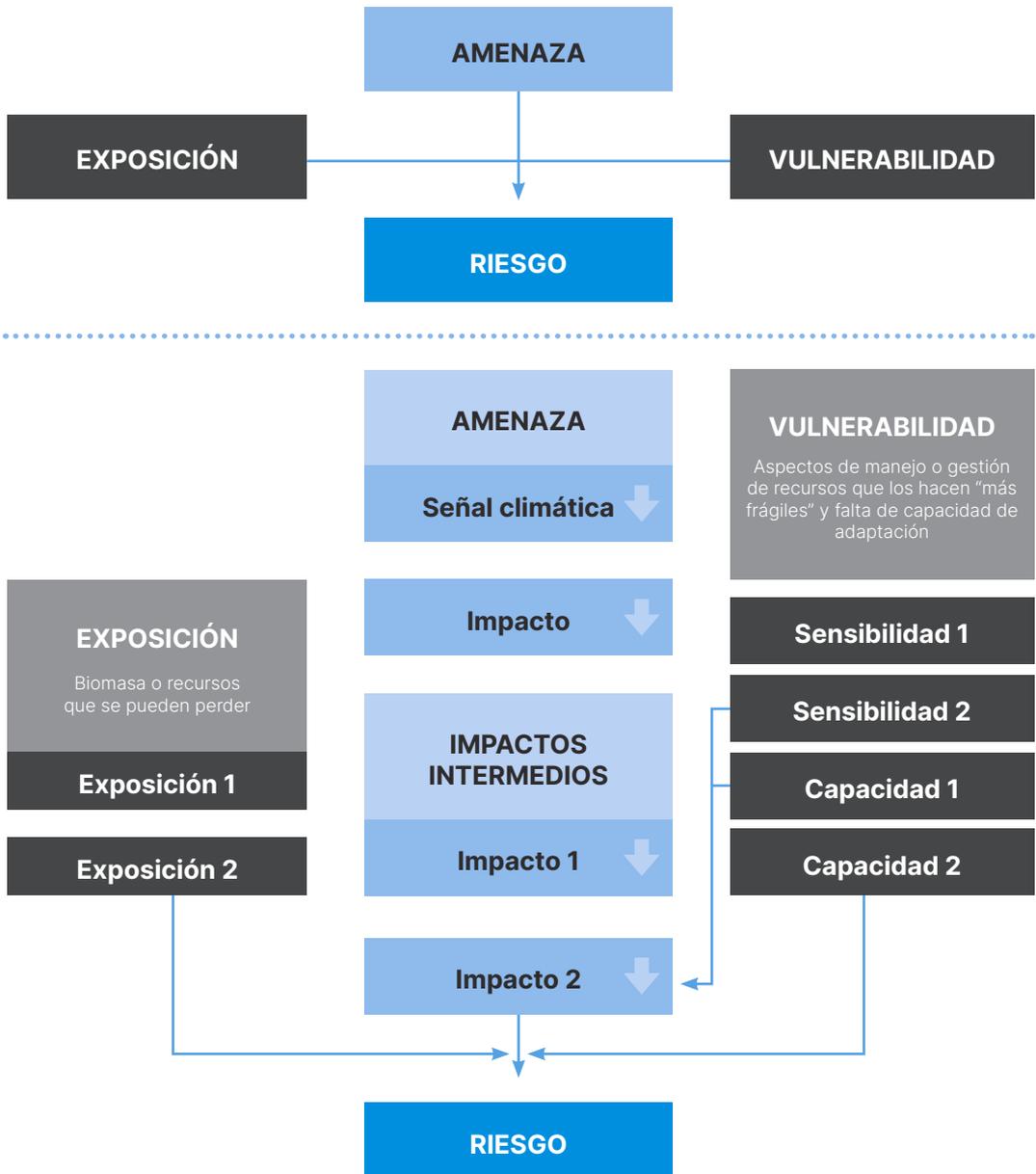
$$Va = (1/3 * E) + (1/3 * S) + (1/3 * (1-CA))$$

A nivel general los resultados obtenidos desde este análisis indican que las comunas más vulnerables al cambio climático son aquellas donde i) los aportes de agua dulce decrecerán, ii) las densidades de producción (biomasa/área marina-costera) son elevadas y iii) existe una alta dependencia socioeconómica respecto a la industria salmonera.

Las proyecciones se pueden modelar proponiendo cambios en los valores de los indicadores para el futuro y también se puede modificar el peso de los mismos. Ello permite explorar diferentes estrategias para reducir la vulnerabilidad.

El informe científico No5 del IPCC (IPCC 2014, FAO 2016) propone un modelo más completo si bien más complejo para abordar los riesgos generales cubriendo en forma conjunta los aspectos biofísicos y sociales y este es el modelo que se ha comenzado a utilizar más en Chile. En este caso el Riesgo General (no es precisamente una matriz de riesgo, sino más bien el concepto de riesgo) es función de las Amenazas (asociadas al cambio climático), la Exposición (lo que se puede perder, biomasa productiva, empleos, biodiversidad etc.) y la Vulnerabilidad (aquellas condiciones o características que hacen la situación más frágil ante las amenazas, por ejemplo, malas condiciones de manejo). Así $R = f(A, E y V)$. Una adaptación a dicha metodología se muestra en la Figura 11.

FIGURA 11
**Modelo de estimación de riesgos frente a amenazas del cambio climático
 basada en la propuesta del AR5**



Referencias

- Allison, E.H., Perry, A.L., Badjeck, M-C, Adger, W.N., Brown, K., Conway, D., Halls, A.S., Pilling, G.M., Reynolds, J.D., Andrew, N.L. & Dulvy, N.K.** 2009. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. Journal compilation 2009 Blackwell Publishing Ltd, FISH and FISHERIES.
- Brugère, C. & De Young, C.** 2015. Assessing climate change vulnerability in fisheries and aquaculture. Available methodologies and their relevance for the sector. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 597. FAO, Rome.
(También disponible en www.fao.org/3/a-i5109e.pdf).
- Bueno, P y Soto, D.** 2017. Adaptation strategies of the aquaculture sector to the impacts of climate change. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1142. FAO, Rome.
(También disponible en [/www.fao.org/3/a-i6943e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i6943e.pdf)).
- Clement, A., Lincoqueo, L., Saldivia, M., Brito, C.G., Muñoz, F., Fernández, C., Pérez, F., Maluje, C.P., Correa, N., Moncada, V. & Contreras, G.** 2016. Exceptional Summer Conditions and HABs of *Pseudochattonella* in Southern Chile Create Record Impacts on Salmon Farms. Harmful Algae News 53: 1-3.
- Comité Científico COP25.** 2019. Océano y cambio climático:50 preguntas y respuestas, Santiago, Chile.
(También disponible en <https://www.cop25.cl/50-preguntas-y-respuestas-para-comprender-la-relacion-entre-oceano-y-cambio-climatico/>).
- FAO.** 2016. Climate change implications for fisheries and aquaculture: Summary of the findings of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report, by Anika Seggel and Cassandra De Young. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1122. Rome, Italy.
- González, E., Norambuena, R., Molina, R. y Thomas, F.** 2013. Evaluación de potenciales impactos y reducción de la vulnerabilidad de la acuicultura al cambio climático en Chile. In: Soto D., Quiñones R (eds.) Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina: Potenciales impactos y desafíos para la adaptación. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 29. FAO, Rome.
- Handisyde, N., Telfer, T.C. & Ross, L.G.** 2017. Vulnerability of aquaculture-related livelihoods to changing climate at the global scale. Fish and Fisheries 18(3):466–488.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** 2001. Cambio climático 2001. Informe de síntesis. Editado por: R.T. Watson Banco Mundial y el Equipo de autores principales.161 págs.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

Soto, D., León-Muñoz, J., Dresdner, J., Luengo, C., Tapia, F. & Garreaud, R. 2019. Salmon farming vulnerability to climate change in southern Chile: understanding the biophysical - socioeconomic and governance links. *Reviews in Aquaculture* 11(2): 354-374 (También disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/raq.12336>).



3.6 Módulo 6: Conocimiento disponible de riesgo y vulnerabilidad en pesca

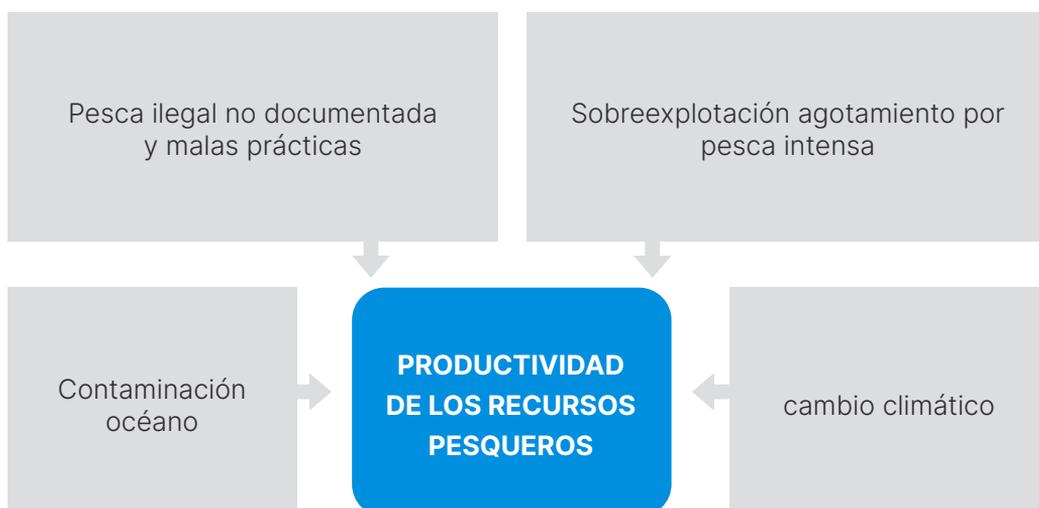
El objetivo de este módulo es ofrecer antecedentes y un entendimiento integrado de los efectos del cambio climático sobre las pesquerías, indagando en la necesidad de una respuesta efectiva para adaptar las actividades que dependen de la gestión pesquera.

Se sabe que el cambio climático está poniendo en riesgo a los recursos pesqueros y ecosistemas, así como a las comunidades dependientes de ellos. La complejidad y sinergia de los procesos vinculados al cambio climático supone que los efectos sobre la pesca y acuicultura sean difíciles de evaluar y atribuir. Barange *et al.*, (2018) indican que la adaptación al cambio climático de las pesquerías es la mejor estrategia, considerando que la actividad pesquera se desarrolla con el propósito de producir alimento y bienestar social, y que este sistema tiene sus propios riesgos (sobreexplotación de los recursos) y externalidades (pesca ilegal, contaminación, entre otras) (Figura 12).

Si bien es cierto, el estado de situación de los recursos determina cierto grado de vulnerabilidad social y económica, la inclusión de medidas de adaptación en el sector de la pesca (y la acuicultura) puede verse obstaculizadas debido a la falta de análisis específicos de las vulnerabilidades del sector ante el cambio climático y de los riesgos asociados, así como de las oportunidades y respuestas probables (Barange *et al.*, 2018).

FIGURA 12

Diferentes estresores externos que actúan sinérgicamente con los efectos del cambio climático sobre el estado de las pesquerías



De acuerdo con Barange *et al.*, (2018), la aplicación de dos modelos de escenarios de cambio climático (RCP2.6: el más bajo, y RCP8.5: el más alto) produjo proyecciones que indicaron que el total de la captura potencial² en las zonas económicas exclusivas (ZEE) disminuiría entre 2,8 y 5,3% al 2050 (respecto de 2000) bajo el escenario RCP2.6 (más bajo), y entre el 7 y 12% siguiendo el escenario RCP8.5; pero de manera heterogénea entre diferentes regiones del mundo, con algunas zonas mucho más afectadas que otras. Por supuesto, los resultados obtenidos con estos modelos no son inamovibles en términos de capturas potenciales (hasta 2050). Es decir, que las capturas pueden aumentar en el caso de que se establezcan planes de manejo y ocurra una recuperación de las pesquerías que hoy están sobreexplotadas, tal que dicha restauración de las poblaciones conduzca a niveles adecuados de explotación sostenible.

Las consecuencias de los cambios con respecto a las personas, las comunidades y los países dependerán de su nivel de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, aunque por lo general puede preverse que serán significativas. La capacidad de adaptación a dichas consecuencias estará determinada por una gama de factores, incluidos, por ejemplo, el grado de dependencia de la actividad, la riqueza y recursos que posean, el nivel de educación, la ubicación y otros factores. Aunque también es factible impactos positivos, se necesitarán de nuevas inversiones, así como flexibilidad en las políticas, leyes y regulaciones, y procesos posteriores a la captura. Se recomienda que las medidas de manejo adaptativo estén dentro del marco de un enfoque ecosistémico para el manejo de la pesca (FAO, 2003) a objeto de aumentar probabilidades de éxito en los planes de adaptación.

3.6.1 Cambio climático y pesquerías

Los impactos del cambio climático son complejos dado que interactúan con otros estresores asociados al cambio global. De esta manera, los efectos pueden ser importantes e inciertos para las sociedades, en términos de la seguridad alimentaria, la conservación de la biodiversidad, la recuperación de pesquerías, y la sustentabilidad de comunidades pesqueras de pequeña-escala.

La pesca es un sector que está permanentemente adaptándose a cambios, ya sea a impactos debidos a la variabilidad climática (estacionales, interanuales y de más largo plazo), a cambios en regulaciones y medidas de manejo, normativos, institucionales y legales. En consecuencia, identificar las lecciones aprendidas en crisis que han ocurrido en el pasado constituyen la mejor información para la capacidad de adaptación (Soto y Quiñones, 2013).

A su vez, la base de conocimiento asociada a impactos de la variabilidad climática determina el envoltorio climático de los recursos. El énfasis ha sido en los efectos de la variabilidad interanual asociada a eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la variabilidad interdecadal.

² La captura potencial no debe ser entendida como captura realizada. Se entiende por captura potencial a un proxy del rendimiento máximo sostenido (RMS) de los recursos, y resulta de simular la explotación del recurso a un nivel ideal de RMS, teniendo en cuenta el cambio en la productividad del ecosistema a lo largo del tiempo (y en el futuro, como consecuencia del cambio climático).

La importancia de dicha variabilidad se relaciona en diferentes escalas espacio-temporales relacionadas con efectos en la abundancia, sobrevivencia de los primeros estadios de vida, reclutamiento, y cambios en la distribución (Parada *et al.*, 2013).

Aunque las respuestas ecológicas al cambio climático parecieran ser evidentes en diferentes sistemas y latitudes, nuestra capacidad para predecir los efectos climáticos a nivel del ecosistema es limitado debido a la complejidad de las interacciones directas e indirectas y a la dificultad de considerar las posibles adaptaciones evolutivas en todos los niveles, así como los efectos de la pesca. En efecto, la dinámica del océano afecta el comportamiento de las poblaciones marinas en un amplio rango de escalas, determinando variaciones importantes en la dinámica trófica, los patrones migratorios y la distribución espacial, entre otros. Identificar los procesos dominantes de la dinámica ambiental, en qué escala de tiempo y espacio se desarrollan, y determinar cómo las distintas escalas de variabilidad interactúan, son aspectos que deberían ser abordados al momento de evaluar el impacto de la variabilidad del ambiente sobre poblaciones marinas.

El Sistema de Corrientes de Humboldt (SCH), por ejemplo, se caracteriza por su alta productividad biológica asociada a la surgencia costera que fertiliza la capa superficial, y a la corriente subsuperficial Perú-Chile que transporta aguas ricas en nutrientes hacia el sur (Huyer *et al.*, 1991). Esta productividad sustenta importantes pesquerías, particularmente por la abundancia de peces pelágicos como anchoveta (*Engraulis ringens*), jurel (*Trachurus murphyi*), sardina común (*Strangomera bentincki*), caballa (*Scomber japonicus*), cefalópodos como la jibia (*Dosidicus gigas*), y demersales como la merluza común (*Merluccius gayi*), entre otros. La distribución y abundancia de estas especies pelágicas y demersales son afectadas por fluctuaciones ambientales en diferentes escalas de tiempo y espacio. No obstante, los avances en el conocimiento de la dinámica del SCH, su impacto sobre el ecosistema pelágico permanece poco analizado, la mayor parte del conocimiento actual se relaciona con el ENOS, principalmente referidos a cambios en distribución y abundancias de peces (Morales *et al.*, 1996, Yáñez *et al.*, 2010, Cahuin *et al.*, 2013), fluctuaciones decadales e interdecadal (Chávez *et al.*, 2003, Cubillos *et al.*, 2007, Cahuin *et al.*, 2009, Cubillos *et al.*, 2014, Castillo-Jordán *et al.*, 2016). No obstante, hay avances para determinar el envoltorio climático de jurel, pez espada y sardina común; y cómo la productividad y la distribución podría cambiar bajo escenarios de cambio climático (Yáñez *et al.*, 2013; 2018).

En el sistema costero, la influencia de la variabilidad climática asociada con eventos El Niño-Oscilación del Sur impacta notablemente sobre la abundancia y disponibilidad de recursos bentónicos litorales, tales como las algas (*Macrosystis* sp), el pulpo (*Octopus mimus*), la macha (*Mesodesma donacium*), el ostión (*Argopecten purpuratus*), lapas (*Fisurella* spp.), loco (*Concholepas concholepas*) (Arntz *et al.*, 2006; Thatje *et al.*, 2008, Moreno *et al.*; 2008, Gaymer *et al.*, 2010), y en la fauna de peces costeros (Sielfeld *et al.*, 2010). Montes y Quiñones (1999), analizaron el efecto de la pluviosidad y caudal de los ríos Biobío e Itata en los desembarques de dos almejas (*Protothaca thaca* y *Venus antiqua*) en la zona centro sur de Chile. Por otra parte, Quiñones y Montes (2001) analizaron el efecto de la entrada de agua dulce (caudal

de los ríos y pluviosidad) de la zona costera del centro sur de Chile. ($36^{\circ}00' \pm 37^{\circ}30'$ lat. S), sobre los desembarques de róbalo (*Eleginops maclovinus*).

Más al sur, a partir de los 42°S y hasta la Tierra del Fuego, en el ecosistema de la Patagonia chilena se desarrollan importantes pesquerías demersales a nivel industrial como artesanal, tal como la pesquería de la merluza del sur (*Merluccius australis*), congrio dorado (*Genypterus blacodes*), merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), merluza de tres aletas (*Micromesistius australis*), bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*), en aguas exteriores. A su vez, en la Patagonia norte representada por el sistema de aguas interiores, canales y fiordos, se desarrolla la pesquería de sardina austral (*Sprattus fuenguensis*), merluza del sur (*Merluccius australis*), de recursos bentónicos en los que destaca la pesquería del erizo (*Loxechinus albus*), loco (*Concholepas concholepas*), y las actividades de acuicultura de mitílidos y salmón. En la Patagonia sur, que comprende en sistemas de fiordos y canales en la Región de Magallanes, destaca la pesquería de la centolla (*Lithodes antarctica*) y centollón (*Paralomis granulosa*), ostión del sur (*Chlamys vitrea*) y ostión patagónico (*Chlamys patagonica*), y recientemente la pesquería del huepo (*Ensis macha*). Sin embargo, las investigaciones de la relación ambiente-recurso en los ecosistemas de la Patagonia chilena son escasos, y no se han realizados sistemáticamente, desconociéndose los efectos e impactos de la variabilidad climática sobre las pesquerías. En esta región, la variabilidad climática del océano exterior podría estar influenciada por los cambios en la posición de la corriente de la Deriva de los Vientos del Oeste y la Oscilación Antártica. Asimismo, también existe la interacción del agua dulce de las capas superficiales con las mareas y con el sistema asociado al mar interior de fiordos y canales. Se carece de información sistemática respecto de la influencia ambiental sobre los recursos pesqueros en los ecosistemas asociados con las islas oceánicas y montes submarinos, tales como el Archipiélago de Juan Fernández, Sala y Gómez, e Isla de Pascua.

El cambio climático tendrá efectos sobre los organismos marinos al manifestarse en el medio como variaciones en la temperatura, salinidad, acidificación del agua de los océanos, incremento del nivel del mar, y fenómenos extremos imprevisibles tales como marejadas, precipitaciones, El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), entre otros. Estos cambios tienen un impacto directo en la producción primaria y secundaria del océano, en los ciclos biológicos y su estacionalidad, en la distribución de los recursos pesqueros, y en la infraestructura de apoyo para actividades de pesca y acuicultura, que en última instancia afectan los beneficios de las comunidades dedicadas a la extracción de recursos pesqueros y actividades de acuicultura en pequeña escala. En Chile centro-sur, por ejemplo, las variaciones de temperatura implican por lo general un aumento de la temperatura superficial de los océanos. Sin embargo, en el caso de Chile, se ha observado una disminución frente a las costas de la zona central y sur. Esto se debe a que el calentamiento global causado por el cambio climático produce una intensificación de los vientos favorables a los afloramientos a lo largo de la costa del centro-sur de Chile debido a un desplazamiento hacia el polo del Anticiclón del Pacífico Sur (SPA), enfriando el sector costero (Jacob *et al.*, 2018). De esta manera, el déficit de precipitaciones (sequía), la mayor intensidad de los vientos y menor aporte del río Biobío disminuyeron la producción primaria cerca de la costa y, en consecuencia, la diversidad de especies. La abundancia de

diatomeas fue afectada por un clima costero más ventoso y seco, y con la disminución del aporte de agua dulce se altera la relación Silice:Nitrógeno (Si:N), impactando negativamente en el metabolismo de la comunidad planctónica.

Las pesquerías bentónicas costeras, por ejemplo, están sujetas a variaciones climáticas mayores que las de los organismos pelágicos, ya que experimentan ciclos estacionales en la productividad biológica, descargas fluviales ácidas, fluctuaciones circadianas, y cambios en la intensidad de la surgencia. La acidificación y el calentamiento global son dos de los factores más importantes asociados con la concentración creciente de CO₂ atmosférico, y son problemas que afrontan las pesquerías bentónicas de crustáceos y moluscos, y por tanto las pesquerías artesanales, como una consecuencia del cambio global.

En Chile, por ejemplo, la zona costera está expuesta a la problemática de la acidificación y la desoxigenación al tratarse de un ecosistema afectado por eventos de surgencia costera. Todos estos estresores pueden producir alteraciones en el sistema fisiológico, el crecimiento, la reproducción, en la tasa de calcificación de las estructuras exoesqueléticas y conchas de moluscos. Asimismo, la acidificación podría producir una reducción en el tamaño de los peces.

Por otro lado, la disminución de oxígeno en los océanos es un factor limitante de la vida marina. Se considera que la causa más probable de dicha desoxigenación está impulsada por la acumulación de GEI. Además, la captación de oxígeno es considerablemente más difícil en el agua, debido a la densidad, viscosidad y baja capacitancia del medio para el oxígeno. El volumen de agua desprovista de oxígeno hasta un nivel anóxico en los océanos está aumentando (Keeling *et al.*, 2010). Los individuos juveniles de la centolla patagónica (*Lithodes santolla*) tienen una tolerancia moderada a la baja disponibilidad de oxígeno puesto que pueden modificar la concentración de proteínas de la hemolinfa para adaptarse a zonas de oxígeno temporalmente bajas. Urbina *et al.*, (2013) determinaron que una alta tolerancia de esta especie a la exposición aérea estaba relacionada principalmente con las adaptaciones a condiciones de bajo oxígeno debido, principalmente, a los eventos hipóxicos que ocurren naturalmente en su hábitat. Otra especie altamente tolerante sería *Austromegabalanus psittacus* que es capaz de regular la pérdida de agua y el metabolismo anaerobio, pudiendo colonizar zonas litorales que están expuesta a largos períodos de emersión. Esta especie podría verse favorecida en un panorama de “desoxigenización” futuro. Otras especies, sin embargo, pueden ser más dependientes de los niveles de oxígeno: el cangrejo *Cancer setosus* muestra un vínculo directo entre el cuidado activo de las crías y la provisión de oxígeno, lo que indica que la restricción del mismo puede afectar su supervivencia. Otros estudios han demostrado efectos negativos de los niveles elevados de CO₂ en el crecimiento gonadal y el desarrollo del erizo de mar (Uthicke *et al.*, 2014).

En este contexto, las pesquerías costeras son vulnerables al efecto sinérgico de diferentes estresores. El efecto de estos estresores se ve agravado por los vertidos de contaminantes desde los flujos fluviales, el uso de la tierra, la sobrepesca, las mareas rojas, los nutrientes vertidos con las descargas al mar y los microplásticos.

En definitiva, el cambio climático está afectando la productividad y disponibilidad de los stocks, por alteraciones en las condiciones oceánicas que impactan con los siguientes efectos:

- a. Efectos biofísicos que se manifiestan en las comunidades, poblaciones, stock disponible y la productividad de los ecosistemas
- b. Efectos directos
- c. Efectos socioeconómicos sobre la actividad pesquera

Estos efectos implican cambios de gran escala en la distribución y abundancia de los recursos pesqueros, así como la disminución de la captura potencial de peces y otros organismos de los stocks explotados actualmente. Cuantificar la influencia adicional del clima en la pesca, más allá de los efectos directos, y también tener en cuenta los componentes vinculados de los sistemas socio-ecológicos (incluidos los propios pescadores) resulta un desafío para la modelización ya que deben elegirse los parámetros, los valores de los mismos y considerar que producen una incertidumbre que da pie a diferentes resultados según el modelo empleado. Mejorar la precisión de las evaluaciones actuales y las proyecciones futuras es fundamental para informar las estrategias de planificación y adaptación. Los avances incluyen el uso de las mejores prácticas para el metaanálisis de evaluación de stock, incluida la contabilidad cuidadosa de los supuestos del modelo, la incertidumbre y el sesgo.

3.6.2 Vulnerabilidad y adaptación de las pesquerías al cambio climático

Los administradores y partes de la gestión de la pesca regional pueden influir en la producción pesquera sostenible futura y la seguridad alimentaria a través del desarrollo, adopción y aplicación de estrategias y prácticas de manejo sostenible. Se necesitan esfuerzos globales para contener el aumento de la temperatura media global a no más de 2° C, más allá de la cual se compromete la integridad de los sistemas ecológicos marinos y terrestres, y por lo tanto nuestros suministros de alimentos.

Existen dos formas de afrontar los impactos del cambio climático: por medio de una estrategia de mitigación y por medio de una estrategia de adaptación. La primera implica una actuación para no llegar al peor de los escenarios climáticos, es decir, supone tomar medidas adelantadas al impacto para que este sea menor. La segunda supone un proceso de ajuste al clima real o esperado y sus efectos actuales o esperados, buscando la mitigación o evitación de los efectos negativos derivados de la acción del hombre y sacando provecho de los beneficios (por ejemplo, en latitudes altas el calentamiento puede llevar a una extensión de los usos del suelo agrícola).

La mitigación como medida para reducir las emisiones de GEI por sí sola no es suficiente para hacer frente al cambio climático, ya que aun teniendo en cuenta estas medidas de mitigación no es hasta la segunda mitad de 2050 que empezarían a notarse sus efectos. Es necesario

adaptarse al escenario de vulnerabilidad de calentamiento del planeta, particularmente en los países en vías de desarrollo donde se observan los efectos más devastadores.

Para poder adaptarse es necesario llevar a cabo un análisis de la vulnerabilidad de los sistemas naturales a los fenómenos climáticos que se avecinan y determinar medidas de adaptación que responden a diferentes categorías: 1. Adaptación preventiva; 2. Adaptación reactiva; 3. Adaptación autónoma; 4. Adaptación planificada. Estas medidas necesitan un enfoque participativo y redactar acciones integradas intersectoriales en los Planes Nacionales de Adaptación.

La adaptación debe comenzar desde una perspectiva multifacética donde cada medida adoptada complementa a las otras y favorezca el uso sostenible. En este sentido, la FAO insta a realizar esfuerzos para poner en práctica el Código de Conducta de la FAO para la pesca Responsable, favorecer un enfoque ecosistémico de la pesca, planificación de áreas marinas protegidas, garantía de sistemas participativos de gobernanza y refuerzo de medidas de control y ejecución en el sector pesquero.

- Es necesario realizar una evaluación de riesgos (costos de adaptación vs. cambios en la contribución del sector pesquero) y disponer de una ordenación dentro de un enfoque ecosistémico.
- Reducir el esfuerzo pesquero, llevando a la práctica esta medida de forma participativa, para aumentar la resiliencia de los ecosistemas y especies a los cambios que vienen.
- Institucionalizar la amenaza del Cambio Climático por medio de la elaboración de Planes y Convenios a nivel regional y nacional.
- Planes de manejo de desastres y reducción de riesgo.
- Adaptación de los procesos posteriores a la captura por medio del desarrollo de equipos y capacidad de almacenamiento y procesamiento y sistemas de bioseguridad para asegurar que el pescado mantiene su calidad hasta llegar al consumidor.
- De cara a las pesquerías de pequeña escala y artesanales, es necesaria la aplicación de directrices voluntarias para lograr la sostenibilidad.
- Debe existir un planificación de la adaptación a largo plazo, considerando estrategias de reducción de la pobreza, para lo cual se deben promover los derechos de tenencia segura y acceso equitativo a las pesquerías flexibilidad para permitir cambios en las artes de pesca y especies objetivo, creación de medios de subsistencia alternativos, concesión de beneficios, creación de capacidad para mejorar la resiliencia y estabilidad económica de los pescadores en pequeña escala a través de, por ejemplo, un mejor acceso a créditos, micro-financiación, seguros e inversiones como medios de erradicación del hambre y la pobreza.
- Reducir la incertidumbre asociada al cambio climático mediante actividades de monitoreo e investigación.

- Además, un mapeo espacial de las regiones más afectadas por el descenso de las pesquerías puede ayudar a informar la planificación futura y las estrategias de adaptación.

El enfoque ecosistémico pesquero analiza las pesquerías considerando las interdependencias ecológicas entre las especies y su relación con el ambiente, así como las interdependencias tecnológicas entre flotas y el impacto de éstas en el hábitat. El EEP procura equilibrar diversos objetivos de la sociedad, teniendo en cuenta el conocimiento y las incertidumbres sobre los componentes abióticos, bióticos y humanos y sus interacciones (enfoque integrado dentro de límites ecológicos razonables y coherentes). Además, el EEP no contradice ni sustituye el manejo pesquero convencional, sino que busca mejorar su aplicación y reforzar su pertinencia ecológica para el desarrollo sostenible.

3.6.3 Consideraciones finales

- a. La combinación del estado actual de las pesquerías regionales con la confirmación de tendencias de efectos negativos del clima futuro sobre los ecosistemas puede generar consecuencias ecológicas, productivas, económicas y sociales.
- b. Fortalecer la capacidad de adaptación es una estrategia urgente de implementar en los componentes del sistema social: gobernanza, gobernabilidad, grupos de interés públicos y privados.
- c. Para detectar y atribuir efectos del CC sobre las pesquerías es imprescindible fortalecer el monitoreo permanente y la investigación estratégica para la pertinente y oportuna toma de decisiones públicas y privadas.

Referencias

- Arntz, W. E., Gallardo, V. A., Gutiérrez, D., Isla, E., Levin, L. A., Mendo, J., Neira, C., Rowe, G.T., Tarazona, J. y Wolff, M.** 2006. El Niño and similar perturbation effects on the benthos of the Humboldt, California, and Benguela Current upwelling ecosystems. *Advances in Geosciences* 6, 243–265. doi:10.5194/ADGEO-6- 243-2006.
- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. & Poulain, F., eds.** 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. 628 pp.
(También disponible en www.fao.org/3/i9705en/I9705EN.pdf).
- Cahuin, S., Cubillos L.A., Escribano, R., Blanco, J.L., Ñiquen, M. & Serra, R.** 2013. Sensitivity of recruitment rates anchovy (*Engraulis ringens*) to environmental changes in Southern Peru—Northern Chile. *Environmental Development* 7, 88-101.
- Cahuin, S.M., Cubillos, L.A., Ñiquen, M. & Escribano, R.** 2009. Climatic regimes and the recruitment rate of anchoveta, *Engraulis ringens*, off Peru. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84, 591-597.

- Castillo-Jordan C.A., Klaer N.L., Tuck G.N., Frusher S.D., Cubillos L.A., Tracey, S.R. & Salinger, M.J.** 2016. Co-incident recruitment patterns of southern hemisphere fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73: 270–278.
- Chávez, F.P., Ryan, J., Lluch-Cota, S.E. & Ñiquen, M.** 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299: 217–299.
- Cubillos, L.A., Serra, R. & Fréon, P.** 2007. Synchronous pattern of fluctuation in three anchovy fisheries in the Humboldt Current System. *Aquatic Living Resources* 20, 69–75.
- Cubillos, L.A., Niklitschek, E. & Cahuin, S.** 2014. Relating a recruitment shift of Patagonian grenadier *Macruronus magellanicus* Lönnberg to large-scale environmental changes off Southern Chile. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 48, 284–293.
- FAO.** 2003. Fisheries Management 2. The Ecosystem Approach to Fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome 4 (Supplement 2): 112 pags.
- Gaymer, C.F., Palma, A.T., Alonso-Vega, J.M., Monaco, C.J. & Henríquez, L.A.** 2010. Effects of La Niña on recruitment and abundance of juveniles and adults of benthic community-structuring species in northern Chile. *Marine and Freshwater Research* 61, 1185–1196.
- Huyer, A., Knoll, M., Paluszkiwicz T. & Smith, R.** 1991. The Peru undercurrent: a study in variability. *Deep Sea Res.* 38 (Supl), S247–S271.
- Jacob, B.G., Tapia, F.J., Quiñones, R., Montes, R., Sobarzo, M., Schneider, W., Daneri, G., Morales, C.A., Montero, P. & González, H.E.** 2018. Major changes in diatom abundance, productivity, and net community metabolism in a windier and dryer coastal climate in the southern Humboldt Current. *Progress in Oceanography* 168:196–209.
- Keeling, R-F., Körtzinger, A. & Gruber, N.** 2010. Ocean deoxygenation in a warming world. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2010. 2:199–229.
- Montes, R. y Quiñones, R.** 1999. Efecto de la pluviosidad y del caudal de los ríos Bio-Bio e Itata sobre los desembarques de las almejas *Protothaca thaca* y *Venus antiqua* en la zona centro - sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural.* 72: 13–30.
- Morales, C.E., Braun, M., Reyes, H., Blanco, J.L. & Davies, A.G.** 1996. Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: the effect of low dissolved oxygen concentrations and of a cold-warm sequence (1990–95). *Investigaciones Marinas Valparaíso* 24, 77–96.
- Moreno, R. A., Sepúlveda, R. D., Badano, E. I., Thatje, S., Rozbaczylo, N. & Carrasco, F.** 2008. Subtidal macrozoobenthos communities from northern Chile during and post El Niño 1997–98. *Helgoland Marine Research* 62, 45–55.

- Parada, C., Yannicelli, B., Hormazábal, S., Vásquez, S., Porobic, J., Ernst, B., Gatica, C., Arteaga, M., Montecinos, A., Núñez, S. y Grechina, A.** 2013. Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo. *Latin American Journal of Aquatic Research* 41, 1-28.
- Quiñones, R. & Montes, M.** 2001. Relationships between freshwater input to the coastal zone and the historical landings of the benthics /demersal fish *Eleginops maclovinus* in central-south Chile. *Fish. Oceanogr.* 10: 4, 311-328.
- Sielfeld, W., Laudien, J. & Vargas, M.** 2010. El Niño induced changes of the coastal fish fauna off northern Chile and implications for ichthyogeography. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45, 705-722.
- Soto, D. y Quiñones, R.** 2013. Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina: Potenciales impactos y desafíos para la adaptación. Taller FAO/Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental (COPAS), Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Thatje, S., Heilmayer, O. & Laudien, J.** 2008. Climate variability and El Niño Southern Oscillation: implications for natural coastal resources and management. *Helgoland Marine Research* 62, 5-14.
- Urbina, M.A., Paschke, K., Gebauer, P., Cumillaf, J.P. & Rosas, C.** 2013. Physiological responses of the southern king crab, *Lithodes santolla*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 166: 538-545. (Decapoda: Lithodidae), to aerial exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 166: 538-545.
- Uthicke, S., Liddy, M., Nguyen, H.D. & Byrne, M.** 2014. Interactive effects of near-future temperature increase and ocean acidification on physiology and gonad development in adult Pacific sea urchin, *Echinometra* sp. *A. Mar Biol* 33: 831-845.
- Yáñez, E., Plaza, F., Gutiérrez-Estrada, J., Rodríguez, N., Barbieri, M.A., Pulido-Calvo, I. & Bórquez, C.** 2010. Anchovy (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*) abundance forecast off northern Chile: A multivariate ecosystemic neural network approach. *Prog. Oceanogr.* 87, 242-250.
- Yáñez, E., M. A., Barbieri, F. Plaza & Silva, C.** 2013: Climate change and fisheries in Chile. In: Behnassi M., Shelat K., Hayashi K., Syomiti M. (eds.), *Vulnerability of Agriculture, Water and Fisheries to Climate Change: Toward Sustainable Adaptation Strategies*. Springer, en prensa.
- Yáñez, E., Lagos, N., Norambuena, R., Silva, C., Letelier, J., Muck, K-P, San Martín, G., Benítez, S., Broitman, B., Contreras, H., Duarte, C., Gelcich, S., Labra, F., Lardies, M., Manríquez, P., Quijón, P., Ramajo, L., González, E., Molina, R., Gómez, A., Soto, L., Montecino, A., Barbieri, M.A., Plaza, F., Sánchez, F., Aranis, A., Bernal, C., and Böhm, G.** 2018. Impacts of Climate Change on Marine Fisheries and Aquaculture in Chile, 239-332. En: *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis, Volume I, First Edition*. (Eds. Bruce F. Phillips y Mónica Pérez-Ramírez.). John Wiley & Sons Ltd.

3.7 Módulo 7: Conocimiento disponible de riesgo y vulnerabilidad en acuicultura

3.7.1 Acuicultura y su entorno ambiental

Especies y sistemas productivos

Los organismos acuáticos excepto las aves y los mamíferos son poiquilotermos es decir no pueden controlar su temperatura interna, esta depende de las condiciones del medio externo y tienen capacidad limitada de controlar otros parámetros internos como salinidad, acidez etc. Así los organismos en vida libre en el mar buscan, se mueven y se establecen, en aquellos ambientes con las condiciones óptimas para vivir y reproducirse. En cambio, los organismos en cultivo están confinados a la ubicación y condiciones que les podemos ofrecer. Las condiciones ambientales circundantes, variabilidad climática y cambio climático afectarán en forma diferencial a diferentes especies especialmente dependiendo de su forma de alimentación, del sistema de cultivo (e.g. abierto vs cerrado) y del grado de control que tenemos sobre el ciclo productivo (Cuadro 4).

Dependiendo de la forma de alimentación se puede hablar de acuicultura con alimentación externa siendo el caso de la mayoría de los peces, crustáceos como es el caso de los camarones, y algunos moluscos. En la mayoría de los casos la alimentación constituye uno de los principales costos de la producción una vez que se han realizado las inversiones de infraestructura. Por otra parte, existe la acuicultura extractiva es decir que no requiere ser alimentada puesto que extrae su alimento directamente desde el medio ambiente como es el caso de los bivalvos tales como mejillones y ostras y otros organismos como pepinos de mar y las algas. La acuicultura de aquellas especies donde el ciclo de vida completo se controla es decir desde la producción de huevos hasta el individuo listo para consumir esta menos expuesta a cambios en el entorno



que aquella donde los huevos y semillas se capturan desde el medio ambiente. Por ejemplo, cambios en ciertas condiciones ambientales y/o agotamiento de las poblaciones naturales que aportan la semilla pueden paralizar la producción (ver De Silva y Soto, 2009).

CUADRO 4

Ejemplos de dependencia³ de las condiciones del ambiente en el cual se cultiva: comparaciones cualitativas

	DEPENDENCIA DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES CIRCUNDANTES		
	Muy dependiente de las condiciones ambientales circundantes	Comparativamente menos dependiente de las condiciones ambientales circundantes	Relativamente independiente de las condiciones ambientales circundantes
TIPO DE ALIMENTACIÓN			
Con alimentación externa como salmones, tilapias, camarones, etc.			
Especies extractivas (que obtienen su alimentación directamente del medio circundante) tales como mejillones, ostras			
SISTEMA DE CULTIVO			
Cultivos cerrados y con recirculación			
Cultivos en tierra semi cerrados (ej. piscinas o estanques de camarones)			
Cultivos en sistemas flotantes de flujo abierto (balsas jaulas de salmones, cuelgas de mejillones)			
MANEJO CICLO BIOLÓGICO			
Control del ciclo biológico completo es decir desde huevo a adulto se produce en forma controlada (ej. salmones)			
Captura de larvas/huevos desde el ambiente (ej. cultivo de mejillones en Chile)			

³ Color naranja: muy dependiente de condiciones ambientales; color verde: menos dependiente de condiciones ambientales; color gris: relativamente independiente de condiciones ambientales.

Controlando las condiciones ambientales de la acuicultura

Nuestra capacidad de controlar las condiciones ambientales para la acuicultura determina en gran medida el éxito del cultivo. Así un cultivo en sistema cerrado y con recirculación puede ser lo más efectivo y seguro pero estos sistemas tienden a ser mucho más caros de mantener y requieren una gran inversión en infraestructura y en terreno, además tiene una mayor huella de carbono pues requieren más energía. Por otro lado, los sistemas más abiertos e incluso que consideran la colecta de huevos y o semilla del ambiente requieren menor infraestructura e inversión, tienen costos menores, pero son mucho más frágiles y vulnerables a todo tipo de presiones e impactos incluyendo variabilidad climática y cambio climático.

3.7.2 Como afecta el cambio climático a la acuicultura

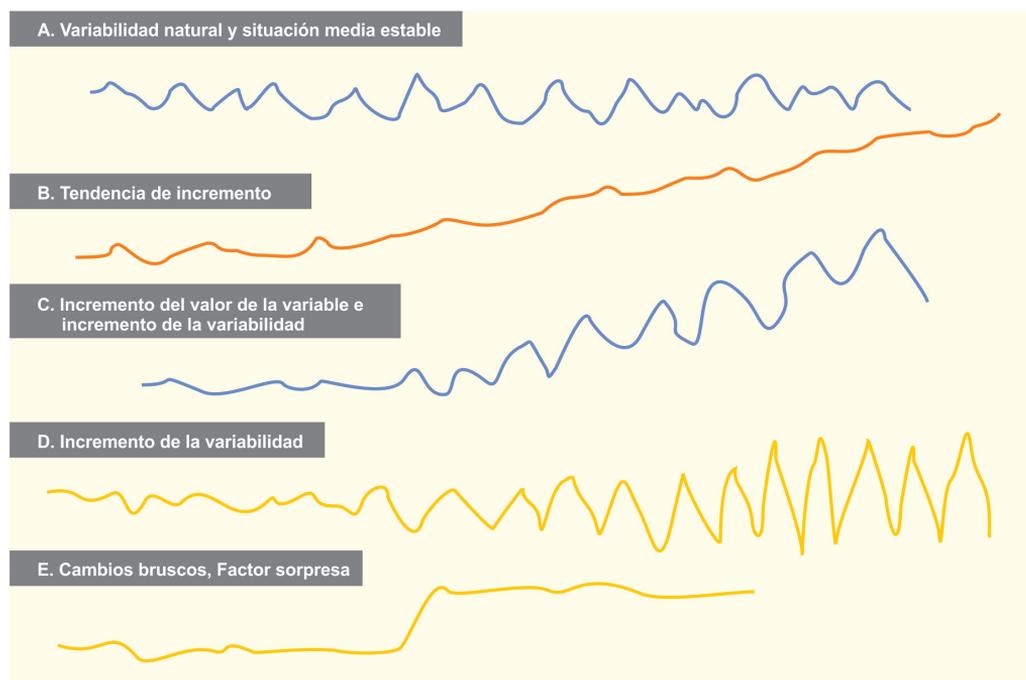
Variabilidad climática (natural) vs cambio climático antropogénico y sus efectos en el corto y largo plazo.

Existe variabilidad natural en el clima de la tierra afecta continentes y mares los cuales han sufrido cambios en el tiempo, existiendo ciclos y variación sin aparente tendencia en el largo plazo. Sin embargo, el aumento en el CO₂ de la atmosfera estaría produciendo cambios significativos tanto en los patrones de variabilidad climática como en las tendencias (Figura 13) y ello se conoce como cambio climático (IPCC, 2014). A menudo es difícil separar variabilidad climática natural de los efectos del cambio climático como es el caso del fenómeno El Niño el cual aún genera discusión científica en cuanto a si su intensidad y frecuencia estaría aumentando debido al cambio climático.

Aun cuando la pesca y la acuicultura son sensibles a los cambios climáticos (repentinos, y de largo plazo) y a la variabilidad climática, existen pocos sistemas integrados de monitoreo e información para pescadores y acuicultores y que cuenten con su confianza, y cuya información (puntual, continua, e interpretada) sea útil para sus procesos de toma de decisión. Por lo tanto, los acuicultores en general deben estar preparados para cambios repentinos y también para cambios en el mediano plazo. El Estado y la interacción entre el sector público y privado deben prepararse para los cambios en plazos más largos.



FIGURA 13
Representación gráfica de variabilidad climática con diferentes tendencias que pueden afectar a la pesca y la acuicultura



Efectos directos e indirectos del cambio climático pueden ser responsables de los cambios en la acuicultura, ya sea a corto o largo plazo. Ejemplos de impactos a corto plazo incluyen la pérdida de producción o infraestructura debido a eventos extremos, enfermedades, algas tóxicas y parásitos; y disminución de la productividad debido a condiciones de cultivo subóptimas. Ejemplos de largo plazo incluyen la escasez de semillas silvestres, el acceso limitado al agua dulce para la agricultura, el acceso limitado a las fuentes marinas y terrestres, disminución de la productividad debido a subóptimas condiciones de cultivo, eutrofización y otras perturbaciones. Estos están bien descritos por De Silva y Soto (2009), Dabbadie *et al.* (2018).

3.7.3 Cambio climático y sus efectos directos e indirectos

Los efectos del incremento de los GEI se han comenzado a analizar en la acuicultura desde el comienzo de la década del 2000 (De Silva y Soto, 2009; González *et al.*, 2013; FAO, 2018).

De Silva y Soto (2009) realizan por primera vez una descripción detallada de los posibles impactos y mecanismos de adaptación para diversos tipos de cultivo. Como se explicó en el capítulo 2 los cambios más importantes en el ambiente marino que podrían afectar directamente a las especies en cultivo son el aumento de la temperatura, cambios en la salinidad, reducción del oxígeno, acidificación del océano.

Aumento de temperatura. Como se indicó anteriormente los peces, los invertebrados y las algas no regulan su temperatura y sus organismos y mecanismos fisiológicos les permiten vivir dentro de ciertos rangos óptimos. El Cuadro 5 muestra la tolerancia térmica y rangos de temperatura óptimos para algunas especies, allí se puede ver por ejemplo que el salmón del Atlántico tiene un rango fisiológico óptimo entre 13 y 17 oC. Cuando las temperaturas están en la parte baja del rango las especies tienden a crecer menos y en general crecen más cuando la temperatura está en la parte más alta de su rango óptimo. Cuando las temperaturas están por sobre el rango óptimo las especies en cultivo tienden a estresarse y frecuentemente en el caso de los peces, dejan de comer. El aumento de la temperatura normalmente produce una reducción del oxígeno pues este gas tiene menor solubilidad en el agua a temperaturas más altas. Así los peces en un sistema de cultivo experimentan menor concentración de oxígeno cuando las temperaturas aumentan y esto genera parte del estrés fisiológico. Por otra parte, las concentraciones de oxígeno también han disminuido en muchas zonas costeras de la tierra por efecto antrópico directo.

Cambios en la salinidad también pueden ocurrir como resultado del cambio climático, se pueden producir reducciones por derretimiento de los polos y glaciares, pero también se puede producir un aumento especialmente en zonas de fiordos y canales como es el caso del sur de Chile por reducción y o cambio en los patrones de lluvia. La reducción de las precipitaciones puede tener efectos indirectos diversos sobre los ambientes acuáticos.

Es importante señalar que los cambios de temperatura oxígeno y salinidad pueden ocurrir en cortos espacios de tiempo por fenómenos locales y /o variación climática. El calentamiento global puede producir este tipo de variaciones y también tendencias en de incremento o reducción en el largo plazo

En general los moluscos especialmente los bivalvos (ej. Los mejillones) pueden tener gran resistencia a cambios bruscos y por periodos cortos de temperatura, oxígeno, salinidad, especialmente las especies que viven en zonas estuarinas.



CUADRO 5

Tolerancia térmica de diversas especies que se cultivan separadas por la zona climática en que viven y se cultivan

MODALIDAD CLIMÁTICA / ZONA TÉRMICA Nombre común (<i>nombre especie</i>)	TEMPERATURA LETAL INCIPIENTE (°C)		RANGO ÓPTIMO (°C)
	Baja	Alta	
TROPICAL			
Tilapia (<i>Tilapia zilli</i>)	7	42	28,8 - 31,4
Tilapia de Guinea (<i>Tilapia guineensis</i>)	14	34	18 - 32
AGUAS TEMPLADAS (SUBTROPICALES)			
Anguila europea (<i>Anguilla anguilla</i>)	0	39	22 - 23
Bagre de Canal (<i>Ictalurus punctatus</i>)	0	40	20 - 25
TEMPLADA / POLAR			
Trucha ártica (<i>Salvelinus alpinus</i>)	0	19,7	6 - 15
Trucha arcoiris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	0	27	9 - 14
Salmón del Atlántico (<i>Salmo salar</i>)	-0,5	25	13 - 17

La acidificación del océano, bien descrita en el módulo 2, se debe al aumento en la emisión de gases invernadero implicando un incremento del CO₂ en la atmosfera implica mayor solubilidad de este elemento en los ambientes acuáticos y ello ha llevado a una tendencia de acidificación del océano que se está comenzando a documentar. Como resultado de la acidificación los océanos están hoy 0.1 unidades de pH más bajo y un 30% más ácido que hace 250 años. La acidificación del océano no está directamente relacionada con cambio climático *per se* sino más bien con su origen es decir con el incremento de CO₂ en la atmosfera.

Un océano más ácido representa una amenaza seria para todos aquellos organismos que requieren calcio en sus estructuras externas, por ejemplo, crustáceos y moluscos con concha pues la calcificación puede dificultarse en un ambiente de mayor acidez o menor alcalinidad. Se han sugerido mecanismos más complejos e impactos generados de la acidificación del océano sobre otros organismos como peces debido a cambios relevantes sobre la fertilización de huevos pelágicos y sobrevivencia de larvas (Bueno y Soto 2017). En Chile se han producido ya numerosas publicaciones científicas que abordan este tema especialmente evaluando el impacto sobre mitílidos en el laboratorio. Así algunos investigadores han mostrado por ejemplo efectos combinados de incremento de temperatura y de la acidez del océano sobre el mejillón chileno, *M. chilensis* concluyendo que la acidificación tendría impactos negativos sobre la especie (Duarte *et al.*, 2014, 2015; Navarro *et al.*, 2016).

Otros efectos en la acuicultura serian causados no afectando directamente a los organismos en cultivo, sino que a otros componentes del ecosistema que a su vez afectan a los organismos en cultivo.

3.7.4 Algunos efectos indirectos de los cambios en temperatura, salinidad, oxígeno, patrones de lluvia entre otros

Incremento de FANs

Un ejemplo típico es el incremento de florecimientos algales nocivos (FANs) y otras plagas.

Los modelos de predicción de cambio climático para Chile indican un continuo decrecimiento de las precipitaciones e incremento de la temperatura lo cual puede afectar a los ambientes marinos (León-Muñoz *et al.* 2018; Soto *et al.* 2019; Aguayo *et al.* 2019). Por ejemplo, en el sur de Chile donde se desarrolla la acuicultura más importante del país representada por los cultivos de salmonídeos y de mejillones, un mayor número de días sin lluvia especialmente durante los meses de primavera verano y otoño significan mayor probabilidad de sol y luminosidad que facilitarían el crecimiento de las microalgas en el plancton. Esto puede ser positivo para organismos que consumen microalgas como los mismos mejillones pues significa más alimento. Sin embargo, también es posible que se incrementen las microalgas que contienen sustancias tóxicas para los consumidores de estos mejillones, y eventualmente también para estos mismos organismos u otros filtradores. Además, los florecimientos de fitoplancton pueden causar mortalidad de peces por daño físico a las branquias y/o también por presencia de toxinas.

Efectos sobre la calidad y cantidad de alimento para cultivos extensivos

También es posible que un cambio en la temperatura, salinidad y/o acidez del océano cause un deterioro de la calidad del alimento para las especies filtradoras y sobre este tema no existe mucha información. Durante el último Niño 2015-2016 se produjeron condiciones ambientales que facilitaron el desarrollo de FANs (León-Muñoz *et al.*, 2018) que afectaron a la salmonicultura y mitilicultura especialmente debido a la toxicidad de las especies de fitoplancton, pero no se ha estimado si hubo efectos específicos en relación a la calidad de las microalgas como alimento para los mitílidos.

Reducción y o deterioro de los insumos para alimentos en cultivos intensivos

Los insumos para alimentos de la acuicultura de organismos que reciben alimentación externa (ej. la mayoría de los peces y camarones) también pueden verse afectados por el cambio climático. Claramente la disponibilidad de harina y aceite de pescado se puede ver afectada por impactos directos sobre las pesquerías de especies pelágicas (De Silva y Soto 2009). También el uso de insumos terrestres como son la soya, maíz, lupino y otros pueden verse afectados por ejemplos por situaciones de calor extremo y especialmente por sequías.

Efectos sobre disponibilidad de semillas del ambiente natural

El cambio climático puede también afectar a la disponibilidad de semilla para los cultivos. Como se indicó arriba, algunos tipos de acuicultura se desarrollan con un ciclo abierto es decir, se captura las larvas o juveniles del ambiente para luego engordar los adultos en cautiverio; buenos

ejemplos son el cultivo de atunes que consiste en capturar a los juveniles y engordarlos para luego comercializarlos, y otro es el cultivo de choritos o mejillones en Chile y en otros países donde se captura la semilla producida por bancos parentales naturales para luego engordarla en colectores para su cosecha y comercialización (Figura 14a). En estas condiciones el cultivo es mucho más vulnerable que cuando la producción se basa en un ciclo cerrado como es el caso de la salmonicultura (Figura 14b).

FIGURA 14a
Ciclo abierto de cultivo (mejillones)

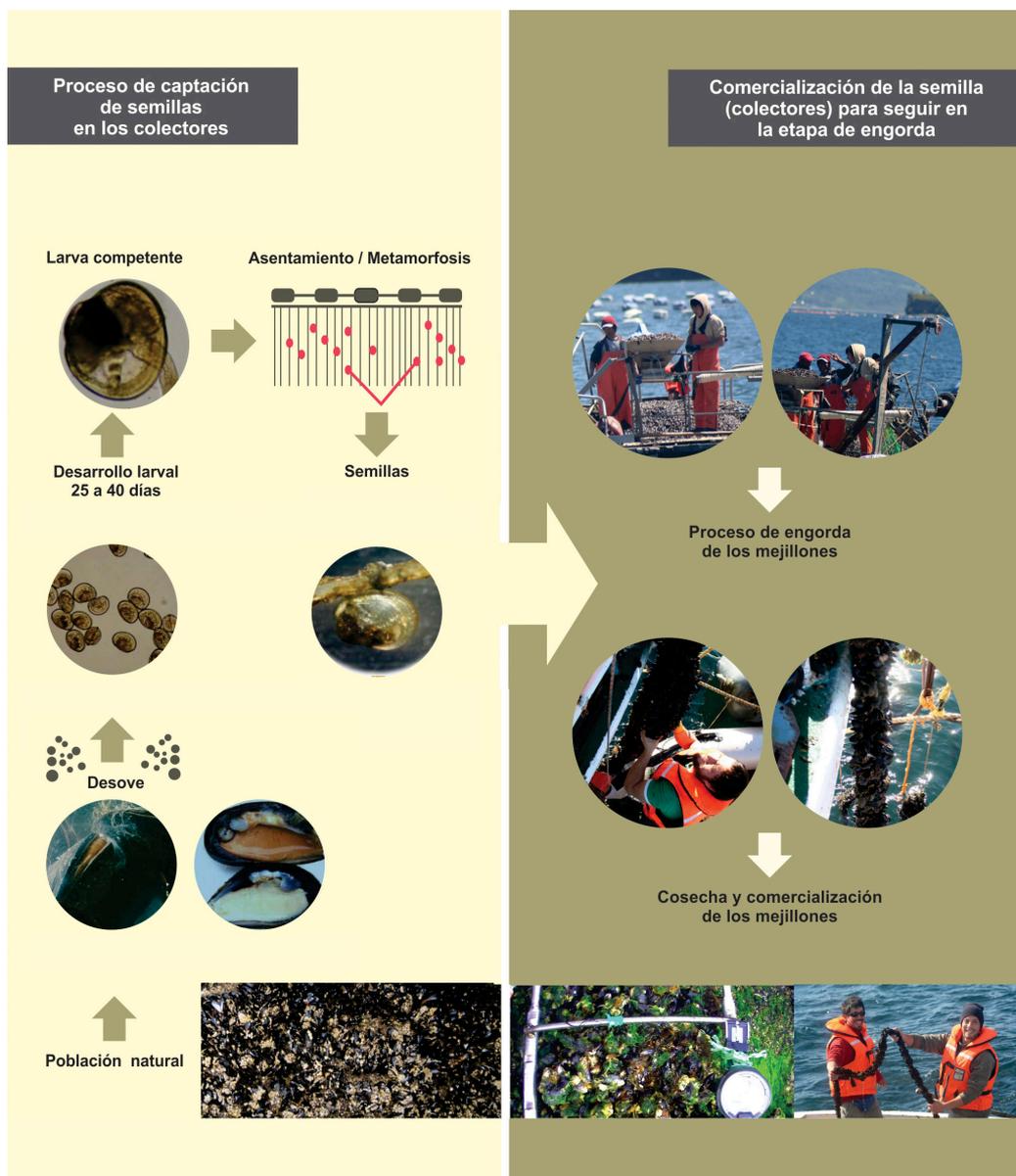
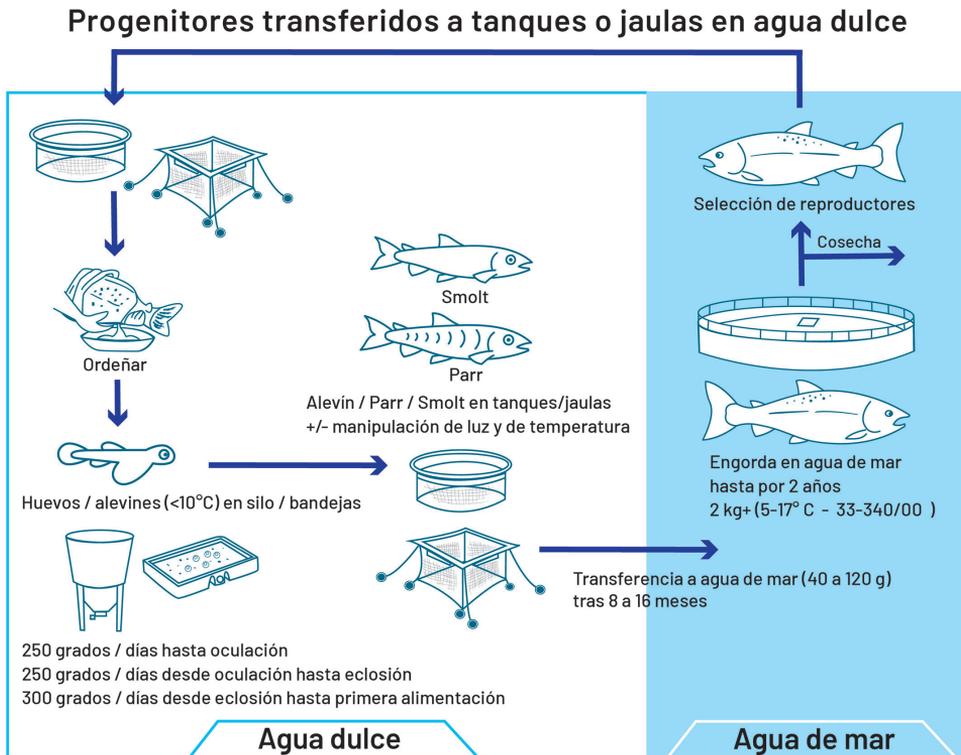


FIGURA 14b
Ciclo de producción acuícola cerrado (salmonicultura en Chile)

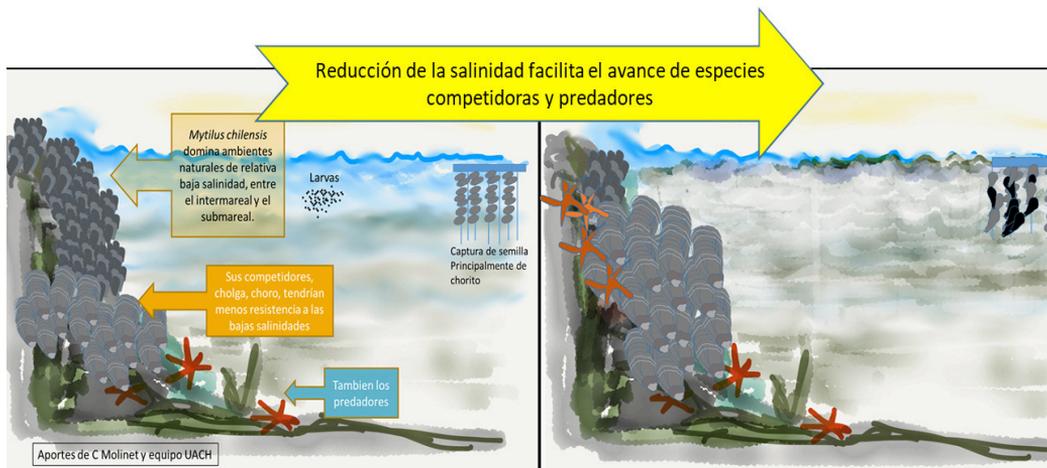


Efectos sobre interacciones ecológicas y tramas tróficas

Uno de los mecanismos indirectos de efectos del cambio climático menos estudiados y conocidos son aquellos cambios en las interacciones ecológicas resultantes de un incremento de especies competidoras y predatoras que pudieran afectar la disponibilidad de semillas para aquellos cultivos que dependen de su disponibilidad en el ambiente natural. Estudios en ejecución sobre la vulnerabilidad de la mitilicultura (Soto, Molinet *et al.* en preparación) al cambio climático en el sur de Chile indican que una disminución de las precipitaciones producirían un incremento en salinidad que podría afectar especialmente la captación de semilla de mejillones en los fiordos (Aguayo *et al.*, 2019). Se postulan al menos dos mecanismos relevantes el primero tiene que ver con que los ingresos de agua dulce desde los ríos producen una pycnoclina que facilita la concentración de las larvas producidas por bancos naturales de mejillones y al reducirse el agua dulce se afectaría la distribución de larvas (Figura 15).

FIGURA 15

Cambio climático afectando la interacción entre especies podría reducir la captación de semilla de mejillones



Fuente: Soto, Molinet *et al.* (en preparación).

Incremento de enfermedades y parasitismo

La variabilidad climática y el cambio climático como tendencia tienen y tendrán un efecto sobre el parasitismo y las enfermedades que afectan a la acuicultura pues el entorno ambiental es tan esencial para parásitos como para sus huéspedes. Una enfermedad o parasitismo solo ocurrirá cuando las condiciones ambientales son óptimas para que el parásito encuentre, se mantenga y se propague entre sus huéspedes. A nivel global se espera por ejemplo que incrementen las enfermedades virales especialmente en los trópicos, además el movimiento global de personas y transporte incrementan los riesgos (De Silva y Soto 2009). En la acuicultura chilena podemos encontrar algunos casos de estudio como ejemplos. El conocido piojo de mar, *Caligus*, es un copépodo ectoparásito de los salmones y ya se sabe que la especie en Chile, *Caligus rogercresseyi* encuentra su situación óptima en condiciones de salinidad sobre los 30 ppm y temperaturas sobre los 14°C. Por lo tanto, en general los centros de cultivo de salmones ubicados en las cabeceras de fiordos y ambientes que tienen más influencia de agua dulce tienden a tener menos incidencia de *Caligus* y también de una ameba parásita, que afecta las branquias de los salmonídeos. Si las condiciones de salinidad incrementan en estos ambientes y s/o si se producen incrementos de las temperaturas estos parásitos tienden a aumentar (Soto *et al.* 2019). El incremento de parásitos por ejemplo de *Caligus*, ha estado asociado a incremento de otras enfermedades. Por otra parte, cualquier condición ambiental que contribuya a estresar a los individuos en cultivo, por ejemplo, el incremento

de parasitismo recién mencionado y/o temperaturas por sobre o por debajo de sus óptimos fisiológicos (Cuadro 5) producirán estrés en los individuos que normalmente se traducen en debilitamiento del sistema inmunitario con lo cual se abren oportunidades para expansión de enfermedades. Aún no se han producido enfermedades relevantes en el caso de los mitílidos, pero hay ejemplos de parásitos en el caso de cultivos de ostras en el hemisferio norte lo cual nos enseña que la acuicultura por consistir en cultivos que proveen buenas condiciones a los parásitos, por su densidad están siempre expuestos.

Incremento de eventos extremos

Este tema ya se ha discutido en otros capítulos anteriores y sin duda es un tema relevante especialmente para la acuicultura ubicada en zonas más expuestas por ejemplo al oleaje cuyo incremento se ha ido observando y se espera que se acentúe a nivel global y en el caso chileno en las zonas centro y norte de la costa. En el caso de la acuicultura de salmones en fiordos y canales en general los sistemas de cultivo de alguna manera han mejorado su adaptación a las grandes tormentas con sistemas y estructuras mucho más resistentes que aquellas que se usaban hace 20 años aun así han ocurrido momentos de fuertes vientos y eventos localizados que dañan infraestructura y se ha provocado por ejemplo escapes masivos de peces.

Disponibilidad de agua dulce: cantidad y calidad

Si bien Chile no tiene producción significativa de acuicultura en agua dulce la totalidad de la salmicultura se genera a partir de ovas y juveniles que se producen en criaderos o pisciculturas de agua dulce en la Araucanía, Región de los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes. Un porcentaje importante de las pisciculturas aun depende directamente de la cantidad y calidad del agua dulce. La industria salmonera utiliza más de un centenar de cuencas para generar las ovas-alevines-juveniles que demandan su producción de mar, produciéndose en ellas más del 75% de sus smolts, principalmente en condiciones de flujo abierto (3/4) (Quiñones *et al.* 2019). En estos sistemas, durante los últimos años, el acceso a fuentes de agua dulce, estables y de alta calidad, es cada vez más difícil. Por ejemplo, en cuencas, donde las precipitaciones han tendido a decrecer y el paisaje ha sido fuertemente alterado (deforestación, aumento de terrenos agrícolas y plantaciones forestales) se ha observado una disminución de los caudales de estiaje y un aumento en las concentraciones de sedimentos, nutrientes y metales pesados, condiciones que afectan a los ciclos de cultivos de salmones y truchas. Las proyecciones climáticas que se hacen para el sur de Chile indican que las precipitaciones en estas regiones podrían disminuir hasta un 30% especialmente en meses de verano y otoño. Esto genera una amenaza especialmente para las pisciculturas de flujo abierto.

Reducción y o deterioro de los insumos para alimentos

Los insumos para alimentos de la acuicultura de organismos que reciben alimentación externa (ej. la mayoría de los peces y camarones) también pueden verse afectados por el cambio climático. Claramente la disponibilidad de harina y aceite de pescado se puede ver afectada por impactos directos sobre las pesquerías de especies pelágicas (De Silva y Soto 2009).

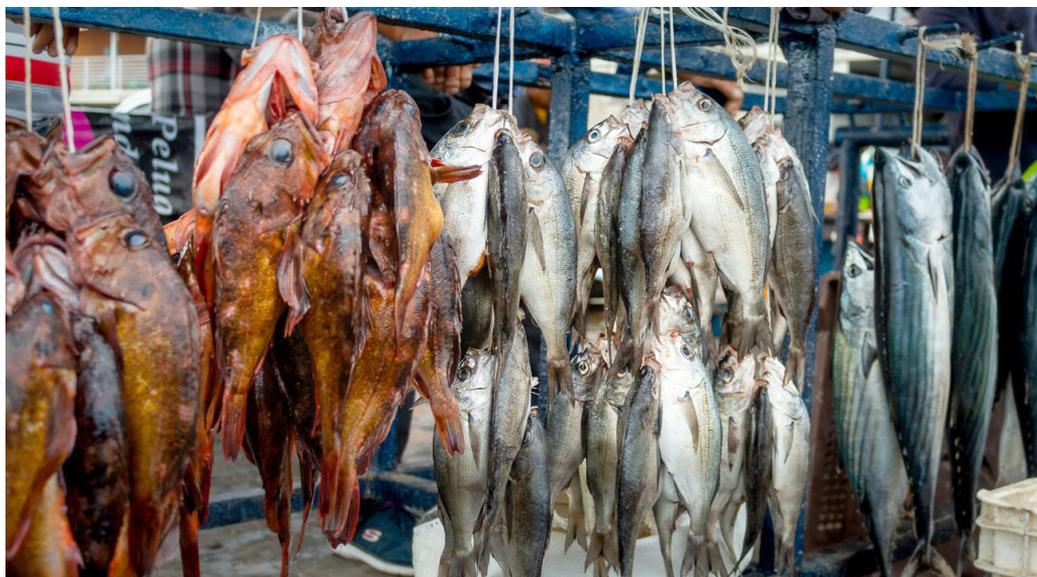
También el uso de insumos terrestres como son la soya, maíz, lupino y otros pueden verse afectados por ejemplos por situaciones de calor extremo y especialmente por sequías.

Algunas medidas de adaptación esenciales para abordar los principales impactos

Claramente algunos cambios podrían ser positivos para ciertos tipos y especies que se cultivan en acuicultura. Por ejemplo, incrementos en temperatura podrían incrementar tasas de crecimiento de muchas especies siempre que estén en el rango de tolerancia y óptimos fisiológicos. Así puede ser muy relevante conocer y usar estas oportunidades, sin embargo, este documento está centrado en cómo abordar los problemas (y quizá transformarlos en oportunidades).

En general existe una interacción entre efectos del cambio climático y factores antrópicos no relacionados con el incremento de GEIs y usualmente los efectos se suman o son sinérgicos. Por ejemplo, un mal manejo de la producción de salmonídeos u otras especies de peces, en altas densidades facilita la llegada y expansión de parásitos y enfermedades y si sobre eso sobreponemos el efecto de incremento de temperatura o salinidad o bajas de oxígeno los efectos finales pueden ser catastróficos. ¡Un sistema productivo mal manejado es siempre más vulnerable!, de tal manera que una medida general de adaptación al cambio climático es una producción acuícola que sigue las mejores prácticas de manejo y gestión (De Silva y Soto, 2009, Soto *et al.*, 2018).

El Cuadro 6 resume forzantes, cadena de efectos (de un modo muy general) algunas medidas o acciones prácticas para abordar amenazas específicas e incrementar la capacidad de adaptación con énfasis en los cultivos más importantes que se realizan actualmente en Chile. Importante señalar que hay una serie de medidas que son indispensables para afrontar prácticamente todas las amenazas que pueden afectar la biomasa en cualquiera de las etapas productivas. Estas se señalan en la primera fila del Cuadro 6.



Caleta Riquelme, Iquique, región de Tarapacá

CUADRO 6

Forzantes/amenazas principales para la producción (biomasa en el agua etc.) asociadas al cambio climático e incremento del CO2 en el mar, cadena de efectos, impactos y medidas de adaptación

	Forzante Climático o amenaza principal	Cadena de efectos	Impactos para organismos en cultivo y consumo/exportación	Medidas de adaptación más relevantes o más comúnmente citadas (Bueno y Soto, 2017, Soto et al., 2018)	
1	Todas o la mayoría de las amenazas descritas más abajo	Múltiples	Múltiples	<ul style="list-style-type: none"> Planificación espacial basada en riesgos Monitoreos ambientales y alertas tempranas Óptimas prácticas de manejo Sistemas de manejo de mortalidades efectivos y amigables con el ambiente 	
2	>Temperatura	Se genera estrés, reduce crecimiento, alimentación	<ul style="list-style-type: none"> >Mortalidad <calidad 	<ul style="list-style-type: none"> Seleccionar variedades y /o especies mejor adaptadas a >T, S% y <OD Tecnologías para incrementar OD 	
3	> Salinidad				
4	<Oxígeno disuelto (OD)				
		5	Incremento de FANs	<ul style="list-style-type: none"> >Mortalidad >Riesgo para el consumo 	<ul style="list-style-type: none"> Barreras físicas y biológicas Variedades que detoxifican más rápido o mejor
		6	Más enfermedades, parasitismo	<ul style="list-style-type: none"> >Mortalidad <Calidad >Riesgo para el consumo 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo sanitario y alerta temprana Reducción densidades Óptimas prácticas de manejo y medidas de bioseguridad Vacunas Control biológico
		6	< Semilla (ej. bivalvos)	<ul style="list-style-type: none"> < Producción y exportación 	<ul style="list-style-type: none"> Protección especial a bancos parentales Replamamiento de bancos Óptimas prácticas de manejo de bancos y captación Producción de semilla en hatcheries
7	> Días sin lluvia y < precipitaciones	Incremento de FANs <agua para pisciculturas	<ul style="list-style-type: none"> >Mortalidad >riesgo para el consumo <producción de ovas y juveniles 	<ul style="list-style-type: none"> Barreras físicas y biológicas Variedades que detoxifican más rápido o mejor Pisciculturas de flujo cerrado 	
8	<pH	Deterioro de bancos parentales, semilla y engorda	<ul style="list-style-type: none"> >Mortalidad <crecimiento <calidad 	<ul style="list-style-type: none"> Seleccionar variedades más resistentes a bajos niveles de pH 	
9	>oleaje y tamaño olas	Deterioro y perdida de infraestructura, accesos, vidas humanas etc.	<ul style="list-style-type: none"> >Mortalidad > Escapes < semilla 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo e implementación de infraestructura más flexible y resistente 	

Referencias

- Aguayo, R., León-Muñoz, J., Vargas-Baecheler, J., Montecinos, A., Garreaud, R., Urbina, M., Soto, D. & Iriarte, J.L.** 2019. The glass half-empty: climate change drives lower freshwater input in the coastal system of the Chilean Northern Patagonia” in Climatic Change. Climate Change. (También disponible en <https://rdcu.be/bLE4H>).
- Bueno, P & Soto, D.** 2017. Adaptation strategies of the aquaculture sector to the impacts of climate change. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1142. FAO, Rome. (También disponible en <http://www.fao.org/3/a-i6943e.pdf>).
- Comité Científico COP25.** 2019. Océano y cambio climático: 50 preguntas y respuestas, Santiago, Chile. (También disponible en <https://www.cop25.cl/50-preguntas-y-respuestas-para-comprender-la-relacion-entre-oceano-y-cambio-climatico/>).
- Dabbadie L., Aguilar-Manjarrez J., Beveridge M.C.M., Bueno P., Ross L.G. & Soto D.** 2018. Chapter 20: Effects of climate change on aquaculture: drivers, impacts and policies – an update in: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. & Poulain, F., eds. 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. pp 449-464.
- De Silva, S.S. y Soto, D.** 2009. El cambio climático y la acuicultura: repercusiones potenciales, adaptación y mitigación. En K. Cochrane, C. De Young, D. Soto y T. Bahri (eds). Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, No 530. Roma, FAO. pp. 169-236. (También disponible en <http://www.fao.org/3/i0994s/i0994s.pdf>).
- Duarte, C., Navarro, J.M., Acuña, K., Torres, R., Manríquez, P.H., Lardies, M.A., Vargas, C.A., Lagos, N.A. & Aguilera, V.** 2014. Combined effects of temperature and ocean acidification on the juvenile individuals of the mussel *Mytilus chilensis*. J. Sea Res. 85, 308e314.
- Duarte, C., Navarro, J., Acuña, K., Torres, R., Manríquez, P., Lardies, M., Vargas, C., Lagos, N., & Aguilera, V.** 2015. Intraspecific variability in the response of the edible mussel *Mytilus chilensis* (Hupe) to ocean acidification. Estuaries Coasts 38: 590–598
- FAO.** 2016 Climate change implications for fisheries and aquaculture: Summary of the findings of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report, by Anika Seggel, Cassandra De Young and Doris Soto. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1122. Rome, Italy. (También disponible en <http://www.fao.org/3/a-i5707e.pdf>).
- FAO.** 2018. Impactos del cambio climático en la pesca y la acuicultura: Síntesis de los conocimientos y las opciones de adaptación y mitigación actuales. Resumen del Documento Técnico de Pesca y Acuicultura de la FAO no. 627. Roma. 48 págs.

- González, E., Norambuena, R., Molina, R. y Thomas F.** 2013. Evaluación de potenciales impactos y reducción de la vulnerabilidad de la acuicultura al cambio climático en Chile. In: Soto D., Quiñones R (eds.) Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina: Potenciales impactos y desafíos para la adaptación. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 29. FAO, Rome.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs. (También disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf).
- León-Muñoz, J., Urbina, M., Iriarte, J. & Garreaud, R.** 2018. Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Scientific Reports* 8 (1), 1-10.
- Navarro, J. M., Duarte, C., Manríquez, P. H., Lardies, M. A., Torres, R., Acuña, K., Vargas, C. A., & Lagos, N. A.** 2016. Ocean warming and elevated carbon dioxide: multiple stressor impacts on juvenile mussels from southern Chile. – *ICES Journal of Marine Science*, 73: 764–771. (También disponible en <https://academic.oup.com/icesjms/article/73/3/764/2459099/>).
- Quiñones, R.A., Fuentes, M., Montes, R., Soto, D. & León-Muñoz, J.** 2019. Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. 2019. *Reviews in Aquaculture* 11(2): 375-402. (También disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/raq.12337>).
- Soto, D., Ross, L.G., Handisyde, N., Bueno, P., Beveridge, M.C.M., Dabbadie, L., Aguilar-Manjarrez, Cai, J. & Pongthanapanich, T.** 2018. "Chapter 21: Climate change and aquaculture: vulnerability and adaptation options" in: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. & Poulain, F., eds. 2018. *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. pp 465-490.
- Soto, D., León-Muñoz, J., Dresdner, J., Luengo, C., Tapia, F. & Garreaud, R.** 2019. Salmon farming vulnerability to climate change in southern Chile: understanding the biophysical - socioeconomic and governance links. *Reviews in Aquaculture* 11(2): 354-374. (También disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/raq.12336>).



Taller Comunal Hualaihue

4. Trabajos prácticos

4. Trabajos prácticos

Durante el curso, los(as) estudiantes deben desarrollar un trabajo práctico, en modalidad grupal, asignado oportunamente por el equipo docente y que consiste en desarrollar un caso de estudio de vulnerabilidad al cambio climático en pesca o en acuicultura. La metodología utilizada se describe ampliamente en el Módulo 5 (páginas 42 a 52 de este Manual). A continuación, se muestra un resumen ejecutivo de dos casos de estudio elaborados por estudiantes durante el curso realizado en Chile.

4.1 Ejemplo de caso de estudio en pesca

Resumen Ejecutivo

Análisis de vulnerabilidad al cambio climático de la pesquería de reineta en Lebu, Chile

Francisco Acevedo Guillén⁴ ; Lorenzo Flores Villarroel¹; Gonzalo Malhue Fernández⁵; Julieta Muñoz Siemsen¹; Ma. Olga Paredes Prieto⁶ y Christian Quinteros Serrano²

1. Antecedentes y metodología

Reineta (*Brama australis*), es un pez epimesopelágico, de distribución circumglobal, presente en aguas chilenas de Coquimbo (29°57'39"S) a Magallanes (53°09'39"S), siendo un importante recurso para la flota artesanal de Chile central, océano Pacífico sur (Pavlov 1991). Distribución vertical entre 15 y 500 m (Bahamonde, 1977; Oyarzún, 2001, San Martín 2017). En términos del ciclo de vida (Leal *et al.*, 2019, San Martín *et al.*, 2017), se puede indicar que i) posee amplia distribución costera y oceánica, ii) Ausencia de evidencia de desove costero frente a Chile, iii) Alimentación oportunista de la especie, iv) Gradiente norte-sur en la talla de los individuos capturados.

Se eligió la Caleta Lebu como unidad de análisis porque el recurso reineta representa el 90% del desembarque artesanal en dicha localidad y el 75% del desembarque nacional (SERNAPESCA, 2019). La información biológico-pesquera fue obtenida a partir de documentos científico-técnicos correspondientes a Leal *et al.*, (2019), Heath *et al.*, (2012), San Martín *et al.*, (2017), Pavlov (1991) y Pavlov (1994). La estadística pesquera, (registro pesquero artesanal, desembarques) fueron obtenidos desde los datos del año 2019 del SERNAPESCA. Los antecedentes sobre oceanografía física del área de estudio fueron consultados con oceanógrafos de la SUBPESCA (juicio experto). La zona de Lebu forma parte de un sistema de surgencias. Los antecedentes socioeconómicos fueron obtenidos de datos provenientes del Ministerio de Desarrollo Social

⁴ Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Valparaíso

⁵ Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura

⁶ Departamento Pesca y Acuicultura y Recursos Marinos

(MIDESO) y de la Municipalidad de Lebu. Para estimar el índice de vulnerabilidad (Va) se usó el siguiente algoritmo:

$$Va = (1/3 * E) + (1/3 * S) + (1/3 * (1-CA))$$

Donde: Va: vulnerabilidad; E = Exposición; S = sensibilidad y CA = capacidad de adaptación

Para el cálculo de E, se determinaron los siguientes forzantes i) aumento de la temperatura, ii) disminución en la disponibilidad de alimento, iii) inestabilidad en el sistema de corriente de Deriva del Oeste, iv) Cambio en el sistema de surgencia y v) desoxigenación del medio marino.

2. Resultados

El Cuadro 7 presenta la descripción de los forzantes y el cálculo de riesgo e índice de exposición (0,518), significando que el recurso y su pesquería en esta localidad presenta un nivel de riesgo significativo.

El Cuadro 8 resume la estimación de sensibilidad (0,76), lo cual significa que el sistema socio-ecológico analizado es altamente dependiente de la pesquería y sensible a potenciales impactos generados por el cambio climático.

El Cuadro 9 muestra que la estimación de capacidad de adaptación de la pesquería artesanal de reineta es relativamente baja (0,32) lo que obliga a identificar medidas que, en el mediano plazo, mejoren este índice.

El Cuadro 10 muestra la estimación final de vulnerabilidad de la pesquería artesanal de reineta en Lebu, Chile, alcanzando un valor de 0,65, relativamente alto y que obliga reducirlo en el mediano plazo, especialmente en las componentes de capacidad de adaptación y sensibilidad.

3. Medidas/acciones para mejorar capacidad de adaptación

- a. Flexibilizar la normativa vigente con el propósito de generar acciones que permitan mejorar la capacidad de adaptación al cambio.
- b. Fortalecer políticas públicas de diversificación productiva, que permitan al pescador artesanal realizar otras actividades (por ej. actividades de turismo), para lo cual se debe contar con la coordinación de la Autoridad Marítima y propiciar las modificaciones legales correspondientes a la Ley de Navegación, e integrar a la institucionalidad asociada a las políticas de turismo.
- c. Establecer programas de desarrollo del turismo gastronómico asociado a los productos que generan las caletas de pescadores artesanales, afectados por los efectos del cambio climático.
- d. Establecer programas de monitoreo de variables ambientales, que puedan ayudar a predecir las alteraciones asociadas al cambio climático, con el objetivo de establecer políticas públicas de apoyo al sector afectado, vía diversificación de la actividad.

CUADRO 7

Análisis de riesgo y estimación del índice de exposición de la pesquería de reineta en Lebu, Chile

Amenaza o forzante relacionado con el cambio climático		Probabilidad ocurrencia de un evento en el futuro (P)			Magnitud del impacto que podría generar el evento (M)			Índice de Riesgo o EXPOSICIÓN		
Forzante	Descripción de posibles impactos y cadena de efectos	(Pasado) Ha ocurrido en el pasado	(Futuro) Proyección para el futuro	P Valor estimado	Biomasa actual o producción que se podría perder	(Mn) Gestión del recurso	M Valor estimado	Nivel de riesgo PxM	RIESGO Valor normalizado (PxM)/25	Nivel de confianza o certeza de la estimación
Aumento de Temperatura (T)	Aumento de T° por sobre el rango óptimo (11°-18° C, Pavlov 1994) provocaría cambios en la distribución y por disponibilidad de especie	5	3	4	4	4	4	16	0,64	Media
Disminución en la disponibilidad de alimento	Su alimento principalmente es Eufausidos (Reineta es un pelágico con un restringido espectro trófico)(Leal et al,2019). Sensibilidad de Eufausidos a la acidificación del medio (exoesqueleto) (Heat et al, 2012)	2	4	3	4	4	4	12	0,48	Media
Inestabilidad en el sistema de corrientes	Cambio latitudinal en la Deriva del oeste (Leal et al, 2019) pueden afectar la disponibilidad del recurso	2	3	2,5	3	4	3,5	8,75	0,35	Media
Cambio en el sistema de surgencia	Cambio en la distribución del recurso por falta de alimento	5	3	4	3	4	3,5	14	0,56	Media
Desoxigenación del medio marino	Cambio en la distribución del recurso	3	4	3,5	4	4	4	14	0,56	Media
PROMEDIO									0,518	

CUADRO 8

Estimación del índice de sensibilidad en la pesquería de reineta en Lebu, Chile

Indicadores para calcular el índice de Sensibilidad= cuán dependiente es la población de este recurso o actividad	Valor
Importancia de la especie respecto al total desembarcado (t)	0,90
Proporción de pescadores inscritos en la especie respecto del total	0,36
Proporción de pescadores inscritos que están bajo en ingreso mínimo mensual	0,90
Índice de sensibilidad (S)	0,76

CUADRO 9

Estimación de la capacidad de adaptación en la pesquería de reineta en Lebu, Chile

Indicadores para calcular el Índice de Capacidad de Adaptación= reflejan atributos y características que hacen a una población mas o menos capaz de prepararse o reponerse frente a un impacto	Valores
Porcentaje de la población de pescadores con educación básica completa	0,55
Porcentaje de pescadores no vulnerables	0,30
Porcentaje de pescadores sin registro social	0,12
Índice capacidad de adaptación (CA)	0,32

CUADRO 10

Estimación de la vulnerabilidad de la pesquería de reineta en Lebu, Chile.

Estimación de Vulnerabilidad (Va)				Vulnerabilidad estimada con la fórmula
Localidad de estudio	Exposición (E)	Sensibilidad (S)	Capacidad de Adaptación (CA)	$Va = (1/3 * E) + (1/3 * S) + (1/3 * (1-CA))$
Lebu	0,5	0,8	0,3	0,65

Referencias

- Bahamonde, R.** 1977. Distribución y abundancia relativa de los principales recursos demersales entre Corral y Golfo de Penas. *Investigación Pesquera* 27: 1-46.
- Heath, M.R., Neat, F.C., Pinnegar J.K., Reid, D.G., Sims, D.W. & Wright, P.G.** 2012 Review of climate change impacts on marine fish and shellfish around the UK and Ireland. *Aquatic conservation* 22: 337-367.
- Leal, E., Gálvez, P. y Sateler, J.** 2019. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales. Informe 3 consolidado Instituto de Fomento Pesquero. 25 págs.
- Oyarzún, C.** 2001. Catálogo de los peces presentes en el sistema de corrientes de Humboldt frente a Chile Centro-Sur. Departamento de Oceanografía.
- Pavlov, Y.** 1991. *Brama australis* Valenciennes - a valid species of sea bream (Bramidae) from the southeastern Pacific Ocean. *Vopr. Ikhtiol*, 31: 141-143.
- Pavlov, Y.P.** 1994. Data on ecology of Southern pomfret, *Brama australis* in the South Eastern Pacific Ocean. *Journal of Ichthyology* 34: 124-126.
- San Martín, M., Leal, E. & Canales, T.M.** 2017. Spatial and bathymetric occurrence of *Brama australis* off the Chilean Coast and in the South Pacific Ocean. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 52 (2) 405-409.
- SERNAPESCA (Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura).** 2019. Boletines regionales. (disponible en www.sernapesca.cl/boletines-regionales). Acceso: 1 diciembre 2019.



Seno Reloncaví desde Pelluco, Puerto Montt, región de Los Lagos

4.2 Ejemplo de caso de estudio en acuicultura

Resumen Ejecutivo

Estimar la vulnerabilidad al cambio climático del cultivo de ostión del norte en Tongoy.

Claudia Accini Muñoz¹, Manuel Alvarado Poblete², Ricardo García Madrid³ y Marcela Garrido Angel⁴

1. Antecedentes y metodología

El ostión del Norte (*Argopecten purpuratus*) es un molusco bivalvo nativo que habita en fondos costeros entre Perú y la región de Valparaíso, Chile. Verticalmente, habita desde la zona intermareal hasta 40 m de profundidad, en aguas con temperaturas entre 12 y 20°C. Es una especie hermafrodita, con fecundación externa, presenta larvas planctónicas que una vez asentadas se alimentan de fitoplancton y detritos orgánicos (Maeda 2008).

Tongoy, caleta de pescadores ubicada en la región de Coquimbo, posee 8.339 habitantes, de los cuales 1.325 hombres y 187 mujeres se dedican a la pesca, acuicultura y labores afines. Hoy, la principal actividad económica es el cultivo del ostión del Norte. En Tongoy existió uno de los 3 principales bancos naturales de este recurso el cual fue agotado en la década de los 80, dando paso a su cultivo. En la actualidad, existen 30 concesiones de acuicultura vigentes varias de las cuales son trabajadas por organizaciones de pescadores artesanales. El turismo y la actividad gastronómica han adquirido importancia, aunque con marcada estacionalidad (verano) y su oferta depende de la gastronomía, basada especialmente en el ostión del norte.

Se recopilaron datos desde fuentes primarias y secundarias (confiables y oficiales) proporcionada por las asociaciones gremiales de cultivadores de ostión. En base a experiencia del equipo de trabajo e información recopilada, se seleccionaron las forzantes para el análisis de riesgo y estimación del índice de exposición, los indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación asociados al sistema socio-ecológico del cultivo del ostión del norte en escenario de cambio climático. La estimación del índice de vulnerabilidad del cultivo de ostión del norte en Tongoy se realizó aplicando la ecuación:

$$Va = (1/3 * E) + (1/3 * S) + (1/3 * (1-CA))$$

Siendo Va: vulnerabilidad; E: índice de exposición S: índice de sensibilidad CA: capacidad de adaptación.

¹ SEREMI Medio Ambiente, Coquimbo

² SERNAPESCA Coquimbo

³ Municipalidad de Coquimbo

⁴ Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, Coquimbo

Para el cultivo de ostión del norte en la localidad de Tongoy se seleccionaron 6 forzantes relevantes: aumento en intensidad y frecuencia de marejadas, incremento de eventos de baja concentración de oxígeno disuelto en el agua, aumento de la temperatura superficial del mar, disminución de las precipitaciones y disminución del pH en el agua, que son los que están generando mayores impactos a la actividad económica del cultivo de ostión en Tongoy, y porque históricamente han significado mayores mortalidades e impactos a la producción de ostión del norte.

2. Resultados

En los Cuadros 11, 12 y 13 resumen la estimación del índice de exposición (0,59), índice de sensibilidad (0,49) e índice de capacidad de adaptación (0,33), respectivamente, para el cultivo de ostión del norte en Tongoy, Chile. El Cuadro 14 muestra la estimación de vulnerabilidad (0,58) para el sistema socio-ecológico bajo estudio.

3. Medidas/acciones para mejorar la capacidad de adaptación

- a. Diversificación productiva.
- b. Promover consumo y valor agregado de productos, para ampliar mercado.
- c. Diversificación de la acuicultura con foco en cultivos extensivos como por ej. macroalgas.
- d. Sistema de seguros para acuicultores ante emergencias causadas por eventos climáticos.
- e. Promover certificación de cultivadores a través de Acuerdos de Producción Limpia.
- f. Desarrollar e implementar sistemas de alerta temprana de eventos climáticos extremos.
- g. Conformación de mesa interinstitucional regional para contingencias/emergencias del sector (mortalidades masivas, bajas de oxígeno, FAN, pérdidas de artes de cultivo, entre otras).
- h. Método integrativo de limpieza de fondo marino en la bahía de Tongoy.

CUADRO 11

Análisis y estimación de riesgo e índice de exposición del cultivo de ostión del norte en Tongoy frente a forzantes seleccionadas

Forzante	Posibles impactos y cadena de efectos	Probabilidad de ocurrencia de un evento en el futuro		P. Valor estimado	Biomasa o actual o producción que se podría perder	Mn) Gestión del recurso	M Valor estimado	Nivel de riesgo (PxM)	RIESGO Valor normalizado (PxM/25)	Índice de riesgo o EXPOSICIÓN			
		(Pasado) ha ocurrido en el pasado	(Futuro) proyecciones para el futuro)							Evaluación de riesgos frente a	Nivel de confianza o certeza de la estimación	Peso relativo	Fuentes de información
> Intensidad de marejadas	Pérdida de biomasa e infraestructura	4	5	4,5	5	4	5	20,25	0,81	Intensidad de marejadas	Alta	0,25	Campos 2016
> frecuencia de marejadas	Menos días operativos, alteración ciclos productivos	4	5	4,5	3	3	3	13,50	0,54	Frecuencia de marejadas	Alta	0,15	Campos 2016
Menos lluvias y descarga de agua dulce al mar	Alteración asentamiento larval	3	5	4,0	2	3	3	10,00	0,4	Menor descarga de agua dulce	Media	0,15	DGA, CEAZA
Aumento y/o disminución de la temperatura del mar	Viabilidad de asentamiento larval, disminución o aumento de crecimiento	2	3	2,5	2	2	2	5,00	0,2	Cambio en la temperatura	Media	0,1	Lagos et al. 2017
Aumento de eventos de hipoxia	Mortalidades masivas, impacto productivo	4	5	4,5	4	5	5	20,25	0,81	Hipoxia	Alta	0,25	Lardies et al. 2017
Disminución del pH del mar	Afectación a formación calcárea, disminución productiva	2	3	2,5	2	2	2	5,00	0,2	Disminución del pH	Media	0,1	IPCC 2014, Lagos et al. 2016

Índice de Exposición

0,59

Riesgo Integrado para la localidad de Tongoy

CUADRO 12

Estimación del índice de sensibilidad del cultivo de ostión del Norte en Tongoy

Sensibilidad Cultivo Ostión del Norte	Valor (proporción)	Peso relativo	Fuente
Población dependiente del recurso o actividad en la población total	0,7	0,5	INE 2019
Empleo directo en relación a empleo total	0,4	0,2	INE 2019
Pesca ilegal y robo de recurso en distintas etapas de cadena productiva	0,2	0,3	AG de Tongoy Cooperativa M-31
Índice de sensibilidad	0,49		

CUADRO 13

Estimación de la capacidad de adaptación del cultivo de ostión del Norte en Tongoy

Indicadores Capacidad de Adaptación	Valor (proporción)	Peso relativo	Fuente
Conocimiento de los trabajadores de Tongoy respecto del cultivo de ostiones	0,8	0,2	Sernapesca 2019 Municipalidad de Coquimbo, 2019
Influencia organizacional de la industria ostionera de Tongoy en la toma de decisiones del sector público	0,1	0,2	Sernapesca 2019 SEREMI Economía Coquimbo
Diversificación productiva de la localidad de Tongoy	0,45	0,25	Municipalidad de Coquimbo, Sernapesca 2019, Ministerio del Medio Ambiente 2019
Índice de escolaridad media del jefe de hogar en la localidad de Tongoy	0,11	0,1	SEREMI de Educación Coquimbo 2019
Población que trabaja por cuenta propia en la localidad de Tongoy (sin protección social, trabajo informal)	0,22	0,1	INE, 2019
Nivel de capacitación en cambio climático de la población que trabaja directamente en los cultivos de ostión ((23/1200 personas)	0,02	0,15	Proyecto de Adaptación al Cambio Climático (GEF-FAO)
Índice de Capacidad de Adaptación	0,33		

CUADRO 14

Estimación de vulnerabilidad del cultivo de ostión del norte en Tongoy

Estimación de Vulnerabilidad (Va)				Vulnerabilidad estimada
Unidad de análisis	Exposición (E)	Sensibilidad (S)	Capacidad de Adaptación (CA)	$Va = (1/3 * E) + (1/3 * S) + (1/3 * (1 - CA))$
Cultivo de ostión del norte en la localidad de Tongoy	0,59	0,49	0,33	0,58

Referencias

- AG de Tongoy Cooperativa M-31.** 2019. Comunicación personal con dirigentes de la Asociación Gremial (AG) de Tongoy Cooperativa M-31.
- Campos, R.V.** 2016. Análisis de marejadas históricas y recientes en las costas de Chile. Memoria del proyecto para optar al Título de Ingeniero Civil Oceánico. (También disponible en <https://es.scribd.com/document/358373135/Memoria-UV-Campos-2016-Analisis-de-marejadas-historicas-y-recientes-en-las-costas-de-Chile-pdf>).
- CEAZA.** 2019. Monitoreo, modelación, pronósticos oceánicos y atmosféricos. (También disponible en www.ceazamet.cl). Acceso: 1 diciembre 2019.
- DGA (Dirección General de Aguas).** 2019. Estadísticas estaciones DGA. (También disponible en <https://dga.mop.gob.cl/servicioshidrometeorologicos/Paginas/default.aspx>
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas de Chile).** 2017. Estadísticas de Chile. Censo 2017. (disponible en www.ine.cl). Acceso: 1 diciembre 2019.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas Chile).** 2019. Estadísticas de la Región de Coquimbo. (disponible en https://regiones.ine.cl/coquimbo/estadisticas#Repositorio_Estad%C3%ADsticas_Econ%C3%B3micas_Regional). Acceso: 1 diciembre 2019.
- IPCC, 2014: Cambio climático** 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo.
- Lagos, N.A., Benítez, S., Duarte, C., Lardies, M.A., Broitman, B.R., Tapia, C., Tapia, P., Widdicombe, S. & Vargas, C.A.** 2017. Effects of temperature and ocean acidification on shell characteristics of *Argopecten purpuratus*: Implications for scallop aquaculture in an upwelling-influenced area. *Aquac Environ Interact* 8:357–370
- Lardies, M.A., Benitez, S., Osores, S., Lagos, N.A., Vargas, C.A., Duarte, C. & Lohrmann, K.B.** 2017. Physiological and histopathological impacts of increased carbon dioxide and temperature on the scallops *Argopecten purpuratus* cultured under upwelling influences in northern Chile. *Aquaculture* 479:455–466
- Maeda, A.** 2008. Moluscos Pectínidos de Iberoamérica. Ciencia y Acuicultura. Editorial Limusa, Mexico.
- SERNAPESCA (Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura).** 2019. Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura. (disponible en www.sernapesca.cl). Acceso: 1 diciembre 2019.
- SUBPESCA (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura).** 2019. Organizaciones pesqueras y acuícolas de Tongoy se preparan para afrontar cambio climático. Chile. (disponible en www.subpesca.cl/portal/617/w3-article-103852.html). Acceso: 1 diciembre 2019.

Anexo 1

Glosario de términos/conceptos más usados en cambio climático

Este documento corresponde a la traducción de términos y conceptos en informes publicados por el IPCC (2014), Summary for policy-makers (a) y Climate Change 2014 (b); ver referencias al final del documento.

Adaptación

El proceso de ajuste al clima real o esperado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación busca moderar o evitar daños o explotar oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima esperado y sus efectos.

- Adaptación incremental: acciones de adaptación donde el objetivo central es mantener la esencia e integridad de un sistema o proceso a una escala dada.
- Adaptación transformacional: Adaptación que cambia los atributos fundamentales de un sistema en respuesta al clima y sus efectos.
- Beneficios de adaptación: Los costos de daños evitados o los beneficios acumulados luego de la adopción e implementación de medidas de adaptación.
- Costos de adaptación Costos de planificación, preparación, facilitación e implementación de medidas de adaptación.
- Capacidad de adaptación (en relación con los impactos del cambio climático), es capacidad de un sistema para adaptarse al cambio climático (incluida la variabilidad del clima y los extremos) para moderar los daños potenciales, aprovechar las oportunidades o hacer frente a las consecuencias.
- Maladaptación Cualquier cambio en los sistemas naturales o humanos que aumenta inadvertidamente la vulnerabilidad a los estímulos climáticos; una adaptación que no logra reducir la vulnerabilidad, sino que la aumenta.

Clima

El clima en sentido estricto generalmente se define como el tiempo promedio, o más rigurosamente, como la descripción estadística en términos de la media y la variabilidad de las cantidades relevantes durante un período de tiempo que varía de meses a miles o millones de años. El período clásico para promediar estas variables es de 30 años, según lo define la Organización Meteorológica Mundial. Las cantidades relevantes son más a menudo variables

de superficie tales como temperatura, precipitación y viento. El clima en un sentido más amplio es el estado, incluida una descripción estadística, del sistema climático.

Cambio climático

Se refiere a un cambio en el estado del clima que se puede identificar (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) por cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, por lo general, décadas o más. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o forzamientos externos, como las modulaciones de los ciclos solares, las erupciones volcánicas y los cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. Téngase presente que la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, define el cambio climático como: “un cambio de clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada en períodos de tiempo comparables”. Por lo tanto, la CMNUCC hace una distinción entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Efecto Invernadero

El efecto radiativo infrarrojo de todos los componentes absorbentes de infrarrojos en la atmósfera. Los gases de efecto invernadero, nubes y (en pequeña medida) los aerosoles absorben la radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra y en otros lugares de la atmósfera. Estas sustancias emiten radiación infrarroja en todas direcciones, pero, en igualdad de condiciones, la cantidad neta emitida al espacio es normalmente menor que la que se habría emitido en ausencia de estos absorbentes debido a la disminución de la temperatura con la altitud en la troposfera y el consiguiente debilitamiento de la emisión. Un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero aumenta la magnitud de este efecto; la diferencia a veces se llama efecto invernadero aumentado. El cambio en la concentración de un gas de efecto invernadero debido a las emisiones antropogénicas contribuye a un forzamiento radiativo instantáneo. La temperatura de la superficie y la troposfera se calientan en respuesta a este forzamiento, restaurando gradualmente el equilibrio radiativo en la parte superior de la atmósfera.

Exposición

La presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.

Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Son aquellos constituyentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera misma y las nubes. Esta

propiedad provoca el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra. Además, en la atmósfera hay una serie de gases de efecto invernadero hechos totalmente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromo, que se tratan en el Protocolo de Montreal. Además de CO₂, N₂O y CH₄, el Protocolo de Kyoto trata con los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC).

Impactos

Se usa principalmente para referirse a los efectos en los sistemas naturales y humanos de fenómenos climáticos extremos y del cambio climático. Los impactos generalmente se refieren a los efectos en la vida, los medios de vida, la salud, los ecosistemas, las economías, las sociedades, las culturas, los servicios y la infraestructura debido a la interacción de los cambios climáticos o los eventos climáticos peligrosos que ocurren dentro de un período de tiempo específico y la vulnerabilidad de una sociedad o sistema expuesto. Los impactos también se conocen como consecuencias y resultados. Los impactos del cambio climático en los sistemas geofísicos, incluidas las inundaciones, las sequías y el aumento del nivel del mar, son un subconjunto de impactos denominados impactos físicos.

Peligro

La posible ocurrencia de un evento físico o tendencia física o impacto físico, inducido por la naturaleza o por el hombre, que puede causar la pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como daños y pérdidas a la propiedad, infraestructura, medios de vida, provisión de servicios, ecosistemas, y recursos ambientales. En este informe, el término peligro generalmente se refiere a eventos o tendencias físicas relacionadas con el clima o sus impactos físicos.

Resiliencia

La capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales para hacer frente a un evento o tendencia o perturbación peligrosa, responder o reorganizarse de manera que mantengan su función, identidad y estructura esenciales, al tiempo que mantiene la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Riesgo

El potencial de consecuencias donde algo de valor está en juego y donde el resultado es incierto, reconociendo la diversidad de valores. El riesgo a menudo se representa como la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos o tendencias multiplicadas por los impactos si estos eventos o tendencias ocurren. El riesgo resulta de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro. En este documento, el término riesgo se usa principalmente para referirse a los riesgos de los impactos del cambio climático.

Transformación

Un cambio en los atributos fundamentales de los sistemas naturales y humanos. La transformación podría reflejar paradigmas, metas o valores fortalecidos, alterados o alineados hacia la promoción de la adaptación para el desarrollo sostenible, incluida la reducción de la pobreza.

Variabilidad climática

Variaciones en el clima (medido por comparación con el estado medio y otras estadísticas, como las desviaciones estándar y las estadísticas de extremos) en todas las escalas temporales y espaciales más allá de los eventos meteorológicos individuales. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa)

Vulnerabilidad

La propensión o predisposición a verse adversamente afectado. La vulnerabilidad abarca una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o la susceptibilidad y la falta de capacidad para hacer frente y adaptarse al daño.

Otros términos de uso común en oceanografía-cambio climático

Acidificación oceánica

Se refiere a una reducción en el pH del océano durante un período prolongado, típicamente en décadas o más, que es causada principalmente por la absorción de dióxido de carbono de la atmósfera, pero también puede ser causada por otras adiciones químicas o sustracciones del océano. La acidificación antropogénica del océano se refiere al componente de la reducción del pH causado por la actividad humana (IPCC, 2011, p. 37).

Ajuste rápido

La respuesta a un agente que perturba el sistema climático que es impulsado directamente por el agente, independientemente de cualquier cambio en la temperatura media global de la superficie. Por ejemplo, el dióxido de carbono y los aerosoles, al alterar las velocidades internas de calentamiento y enfriamiento dentro de la atmósfera, pueden causar cambios en la cubierta de nubes y otras variables, lo que produce un efecto radiativo incluso en ausencia de cualquier calentamiento o enfriamiento de superficie. Los ajustes son rápidos en el sentido que comienzan a ocurrir de inmediato, antes de las reacciones climáticas que son impulsadas por el calentamiento (aunque algunos ajustes pueden tardar un tiempo considerable en completarse, por ejemplo, aquellos que involucran vegetación o capas de hielo). También se le llama respuesta rápida o ajuste rápido.

Alcalinidad

Una medida de la capacidad de una solución acuosa para neutralizar ácidos.

Almacenamiento de agua en la Tierra

Agua almacenada en tierra distinta de glaciares y capas de hielo (es decir, agua almacenada en ríos, lagos, humedales, la zona vadosa, acuíferos, reservorios, nieve y permafrost). Los cambios en el almacenamiento de agua en la tierra impulsados por el clima y las actividades humanas contribuyen al cambio del nivel del mar.

Altura Significativa de la Ola

La altura media de la vaguada a la cresta del tercio más alto de las alturas de las olas (mar y oleaje) que se producen en un período de tiempo determinado.

Antropogénico

Resultante de o producido por actividades humanas.

Atmósfera

La envoltura gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca se compone casi totalmente de nitrógeno (78.1% en volumen de mezcla) y oxígeno (20.9% en volumen de mezcla), junto con una serie de gases traza, como argón (0.93% en volumen de mezcla), helio y gases de efecto invernadero radiactivamente activos, como el dióxido de carbono (0.035%).

Balance de energía

La diferencia entre la energía entrante y saliente total. Si este balance es positivo, se produce calentamiento; si es negativo, se produce enfriamiento. Promediado en todo el mundo y durante largos períodos de tiempo, este saldo debe ser cero. Debido a que el sistema climático deriva prácticamente toda su energía del sol, el equilibrio cero implica que, a nivel mundial, la radiación solar absorbida, es decir, la radiación solar entrante menos la radiación solar reflejada en la parte superior de la atmósfera y la radiación de onda larga emitida por el sistema climático son iguales. Véase también Presupuesto de Energía.

Balance de Masa / Presupuesto (de glaciares o capas de hielo)

El balance entre la entrada de masa al cuerpo de hielo (acumulación) y la pérdida de masa (ablación y parto de iceberg) durante un período de tiempo establecido, que suele ser un año o una estación. El balance de masa puntual se refiere al balance de masa en una ubicación particular en el glaciar o la capa de hielo. El balance de masa de la superficie es la diferencia entre la acumulación de la superficie y la ablación de la superficie. Los términos de entrada y salida para el balance de masa son:

Acumulación: Todos los procesos que se suman a la masa de un glaciar. La principal contribución a la acumulación es la nieve. La acumulación también incluye la deposición de escarcha, lluvia helada, otros tipos de precipitación sólida, ganancia de nieve arrastrada por el viento y avalanchas.

Ablación: Procesos superficiales que reducen la masa de un glaciar. El principal

contribuyente a la ablación es el derretimiento con escorrentía, pero en algunos glaciares, la sublimación, (puntuación) la pérdida de nieve arrastrada por el viento y avalanchas también son procesos significativos de ablación.

Descarga/Salida

Pérdida de masa por el partimiento de icebergs o descargas de hielo a través de la línea de conexión a tierra de una plataforma de hielo flotante. Aunque a menudo se trata como un término de ablación, en este informe, el partimiento y la descarga de los icebergs se consideran separado de la ablación de la superficie.

Bioma

Un bioma es un elemento regional importante y distinto de la biosfera, que consiste típicamente en varios ecosistemas (por ejemplo, bosques, ríos, estanques, pantanos dentro de una región). Los biomas se caracterizan por las comunidades típicas de plantas y animales.

Biosfera (terrestre y marina)

La parte del sistema terrestre que comprende todos los ecosistemas y organismos vivos, en la atmósfera, en la tierra (biosfera terrestre) o en los océanos (biosfera marina), incluida la materia orgánica muerta derivada, como la basura, el suelo orgánico, materia y detritus oceánicos.

Bomba biológica

El proceso de transporte de carbono desde las capas superficiales del océano hasta el océano profundo mediante la producción primaria de fitoplancton marino, que convierte el carbono inorgánico disuelto (DIC) y los nutrientes en materia orgánica a través de la fotosíntesis. Este ciclo natural está limitado principalmente por la disponibilidad de luz y nutrientes como el fosfato, nitrato y ácido silícico, y micronutrientes, como el hierro.

Bomba de Solubilidad

Un proceso fisicoquímico importante que transporta el carbono inorgánico disuelto desde la superficie del océano hasta su interior. Este proceso controla el inventario de carbono en el océano. La solubilidad del dióxido de carbono gaseoso puede alterar las concentraciones de dióxido de carbono en los océanos y la atmósfera suprayacente.

Bombeo de Ekman

El estrés de fricción en la superficie entre dos fluidos (la atmósfera y el océano) o entre un fluido y la superficie sólida adyacente (la superficie de la Tierra) fuerza una circulación. Cuando la masa resultante está convergiendo, la conservación de masa requiere un flujo vertical lejos de la superficie. Esto es llamado el bombeo de Ekman. El efecto opuesto, en caso de divergencia, es llamada la succión de Ekman. El efecto es importante tanto en la atmósfera como en el océano.

Calidad / Capacidad de predicción

Medidas del éxito de una predicción contra información basada en observaciones. Ninguna medida individual puede resumir todos los aspectos de la calidad del pronóstico y se considera un conjunto de métricas. Las métricas diferirán para los pronósticos dados en forma determinística y probabilística.

Cambio del nivel del mar

El nivel del mar puede cambiar, tanto a nivel mundial como local, debido a (1) cambios en la forma de las cuencas oceánicas, (2) un cambio en el volumen oceánico como resultado de un cambio en la masa de agua en el océano, y (3) cambios en el volumen del océano como resultado de cambios en la densidad del agua del océano. El cambio en el nivel medio global del mar que resulta del cambio en la masa del océano se denomina bariátrica. La cantidad de cambios en el nivel del mar por bariátrica debido a la adición o eliminación de una masa de agua se denomina nivel del mar equivalente (NME). Los cambios en el nivel del mar, tanto a nivel mundial como local, resultantes de cambios en la densidad del agua se denominan estéricos. Los cambios de densidad inducidos solo por cambios de temperatura se llaman termostéricos, mientras que los cambios de densidad inducidos por cambios de salinidad se denominan halosterios. Los cambios bariátricos y estéricos del nivel del mar no incluyen el efecto de los cambios en la forma de las cuencas oceánicas inducidas por el cambio en la masa oceánica y su distribución.

Cambio dinámico rápido (de glaciares o capas de hielo)

Cambios en la masa de la capa de hielo o glaciar controlados por cambios en la velocidad de flujo y descarga en lugar de por acumulación o ablación. Esto puede resultar en una tasa de cambio de masa mayor que la debida a cualquier desequilibrio entre la acumulación y la ablación. El cambio dinámico rápido puede iniciarse por un desencadenante climático, como la incursión de agua cálida del océano debajo de una plataforma de hielo, o el adelgazamiento de un terminal de agua de marea conectado a tierra, que puede provocar reacciones dentro del sistema glaciar, lo que puede ocasionar una rápida pérdida de hielo. Ver también Balance de Masa / Presupuesto (de glaciares o capas de hielo).

Capa de Hielo con base marina

Una capa de hielo que contiene una región sustancial que descansa sobre un lecho que se encuentra debajo del nivel del mar y cuyo perímetro está en contacto con el océano. El ejemplo más conocido es la capa de hielo de la Antártida Occidental.

Capa de ozono

La estratosfera contiene una capa en la que la concentración de ozono es mayor, la llamada capa de ozono. La capa se extiende desde aproximadamente 12 a 40 km sobre la superficie de la Tierra. La concentración de ozono alcanza un máximo entre unos 20 y 25 km. Esta

capa se ha deteriorado por las emisiones humanas de compuestos de cloro y bromo. Cada año, durante la primavera del hemisferio sur, se produce un fuerte agotamiento de la capa de ozono sobre la Antártida, causada por compuestos antropogénicos de cloro y bromo en combinación con las condiciones meteorológicas específicas de esa región. Este fenómeno se llama el agujero de la capa de ozono.

Cuaternario

El Sistema Cuaternario es el último de los tres sistemas que conforman la Era Cenozoica (65 Ma al presente), que se extiende desde 2,59 Ma hasta la actualidad, e incluye las épocas del Pleistoceno y el Holoceno.

Ciclo de carbono

El término utilizado para describir el flujo de carbono (en diversas formas, por ejemplo, como dióxido de carbono) a través de la atmósfera, el océano, la biosfera terrestre y marina y la litosfera. En este informe, la unidad de referencia para el ciclo global del carbono es GtC o equivalente PgC (1015 g).

Ciclo hidrológico

El ciclo en el cual el agua se evapora de los océanos y de la superficie terrestre, se transporta sobre la Tierra en circulación atmosférica en forma de vapor de agua, se condensa para formar nubes, precipita sobre el océano y la tierra como lluvia o nieve, que en tierra puede ser interceptada por los árboles y la vegetación, proporcionan escorrentía en la superficie de la tierra, se infiltran en los suelos, recargan las aguas subterráneas, se descargan en los arroyos y finalmente fluyen hacia los océanos, de donde eventualmente se evaporarán nuevamente. Los diversos sistemas involucrados en el ciclo hidrológico se denominan generalmente sistemas hidrológicos.

Ciclos Glacial-Interglaciales

Fase de la historia de la Tierra marcada por grandes cambios en el volumen de hielo continental y el nivel global del mar. Ver también Edad de Hielo e Interglaciales.

Circulación general

Los movimientos a gran escala de la atmósfera y el océano como consecuencia del calentamiento diferencial en una Tierra en rotación. La circulación general contribuye al equilibrio energético del sistema a través del transporte de calor y el impulso.

Circulación Termohalina (THC, por sus siglas en inglés)

Circulación a gran escala en el océano que transforma las aguas del océano superior de baja densidad en aguas intermedias y profundas de mayor densidad y devuelve esas aguas al océano superior. La circulación es asimétrica, con conversión a aguas densas en regiones

restringidas en latitudes altas y el retorno a la superficie que implica procesos de surgencia lenta y difusos en regiones geográficas mucho más grandes. La THC es impulsada por altas densidades en o cerca de la superficie, causada por temperaturas frías y / o altas salinidades, pero a pesar de su sugerente aunque común nombre, también es impulsada por fuerzas mecánicas como el viento y las mareas. Con frecuencia, el nombre THC se ha usado como sinónimo de Circulación Meridional de Retorno.

Compromiso con el cambio climático

Debido a la inercia térmica del océano y los procesos lentos en la criósfera y las superficies terrestres, el clima continuaría cambiando incluso si la composición atmosférica se mantuviera fija en los valores actuales. Los cambios pasados en la composición atmosférica conducen a un cambio climático comprometido, que continúa mientras persiste un desequilibrio radiativo y hasta que todos los componentes del sistema climático se han adaptado a un nuevo estado. El cambio adicional de temperatura después que la composición de la atmósfera se mantiene constante se denomina compromiso de temperatura constante o simplemente compromiso de calentamiento o calentamiento comprometido. El compromiso con el cambio climático incluye otros cambios futuros, por ejemplo, en el ciclo hidrológico, en eventos climáticos extremos, en eventos climáticos extremos y en el cambio del nivel del mar. El compromiso de emisión constante es el cambio climático comprometido que resultaría de mantener constantes las emisiones antropogénicas y el compromiso de emisión cero es el compromiso de cambio climático cuando las emisiones se establecen en cero.

Concentración equivalente de dióxido de carbono (CO₂)

La concentración de dióxido de carbono que causaría el mismo forzamiento radiativo que una mezcla dada de dióxido de carbono y otros componentes de forzamiento. Esos valores pueden considerar solo gases de efecto invernadero, o una combinación de dichos gases y aerosoles. La concentración equivalente de dióxido de carbono es una medida para comparar el forzamiento radiativo de una mezcla de diferentes gases de efecto invernadero en un momento determinado, pero no implica la equivalencia de las respuestas correspondientes al cambio climático ni el forzamiento futuro. Generalmente no hay conexión entre las emisiones equivalentes de dióxido de carbono y las concentraciones equivalentes de dióxido de carbono resultantes.

Confianza

La validez de un hallazgo basado en el tipo, cantidad, calidad y consistencia de la evidencia (por ejemplo, comprensión mecanicista, teoría, datos, modelos, juicio experto) y en el grado de acuerdo. La confianza se expresa cualitativamente.

Convección vertical

Movimiento impulsado por las fuerzas de flotación que surgen de la inestabilidad estática, generalmente causada por el enfriamiento cerca de la superficie o el aumento de la salinidad

en el caso del océano y el calentamiento cercano a la superficie o el enfriamiento por radiación superior a las nubes en el caso de la atmósfera. En la atmósfera, la convección da lugar a cúmulos y precipitación, y es eficaz tanto en la eliminación como en el transporte vertical de especies químicas. En el océano, la convección puede llevar las aguas superficiales a lo profundo del océano.

Convención Marco sobre el Cambio Climático

Ver Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)

La Convención fue adoptada el 9 de mayo de 1992 en Nueva York y firmada en la Conferencia de la Tierra de 1992 en Río de Janeiro por más de 150 países y la Comunidad Europea. Su objetivo final es la “estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático”. Contiene compromisos para todos los Partidos. Según la Convención, las Partes incluidas en el Anexo I (todos los países de la OCDE y países con economías en transición) pretenden devolver las emisiones de gases de efecto invernadero no controladas por el Protocolo de Montreal a los niveles de 1990 para el año 2000. La convención entró en vigor en marzo de 1994. En 1997, la CMNUCC adoptó el Protocolo de Kioto.

Consumo

La adición de una sustancia de interés para un reservorio. La absorción de sustancias que contienen carbono, el dióxido de carbono en particular, a menudo se denomina secuestro de carbono.

Criósfera

Todas las regiones en y debajo de la superficie de la Tierra y el océano donde el agua se encuentra en forma sólida, incluido el hielo marino, el hielo del lago y río, la capa de nieve, los glaciares y capas de hielo, y el suelo congelado (que incluye el permafrost).

Deglaciación/Terminación glacial

Transiciones de condiciones glaciales completas (edad de hielo) a cálidos interglaciales caracterizados por el calentamiento global y el aumento del nivel del mar debido al cambio en el volumen de hielo continental.

Deposición de nitrógeno

Se define como el nitrógeno transferido desde la atmósfera a la superficie de la Tierra por los procesos de deposición húmeda y deposición seca.

Desgaste

La eliminación gradual del CO₂ atmosférico a través de la disolución de las rocas de silicato y carbonato. La meteorización puede implicar procesos físicos (meteorización mecánica) o actividad química (meteorización química).

Detección y Atributo

La detección de cambio se define como el proceso de demostrar que el clima o un sistema afectado por el clima ha cambiado en algún sentido estadístico definido, sin proporcionar una razón para ese cambio. Se detecta un cambio identificado en las observaciones si se determina que su probabilidad de ocurrencia por casualidad, debido a la variabilidad interna, por sí sola es pequeña.

Días fríos/Noches frías

Días donde la temperatura máxima, o las noches donde la temperatura mínima, cae por debajo del percentil 10 y donde las respectivas distribuciones de temperatura generalmente se definen con respecto al período de referencia de 1961–1990.

Días Cálidos / Noches Cálidas

Días donde la temperatura máxima, o noches donde la temperatura mínima, excede el percentil 90, donde las respectivas distribuciones de temperatura generalmente se definen con respecto al período de referencia de 1961–1990.

Diatomeas

Algas de tamaño limo (silt-sized) que viven en aguas superficiales de lagos, ríos y océanos y forman conchas de ópalo. Su distribución de especies en los núcleos oceánicos a menudo está relacionada con las temperaturas de la superficie del mar en el pasado.

Dióxido de carbono (CO₂)

Gas natural y también es un subproducto de la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón, de la quema de biomasa, de los cambios en el uso del suelo y de los procesos industriales (por ejemplo, la producción de cemento). Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta el equilibrio radiativo de la Tierra. Es el gas de referencia contra el cual se miden otros gases de efecto invernadero y, por lo tanto, tiene un potencial de calentamiento global de 1.

Ecosistema

Unidad funcional que consiste en organismos vivos, su entorno no vivo, y las interacciones dentro y entre ellos. Los componentes incluidos en un ecosistema dado y sus límites espaciales dependen del propósito para el cual se define el ecosistema: en algunos casos son

relativamente agudos, mientras que en otros son difusos. Los límites del ecosistema pueden cambiar con el tiempo. Los ecosistemas están anidados dentro de otros ecosistemas, y su escala puede variar desde una muy pequeña a toda la biosfera. En la era actual, la mayoría de los ecosistemas contienen a las personas como organismos clave o están influenciados por los efectos de las actividades humanas en su entorno.

Edad de hielo

Una edad de hielo o período glacial se caracteriza por una reducción a largo plazo de la temperatura del clima de la Tierra, que resulta en el crecimiento de las capas de hielo y glaciares.

Efecto rebote

Cuando se elimina el CO₂ de la atmósfera, se reduce el gradiente de concentración de CO₂ entre los depósitos de carbono atmosféricos y terrestres / oceánicos. Esto conduce a una reducción o reversión en la subsiguiente tasa inherente de eliminación de CO₂ de la atmósfera por los procesos del ciclo natural del carbono en la tierra y el océano.

El Niño – Oscilación del Sur (ENOS)

El término “El Niño” se usó inicialmente para describir una corriente de agua caliente que fluye periódicamente a lo largo de la costa de Ecuador y Perú, lo que interrumpe la pesca local. Desde entonces se ha identificado con un calentamiento en toda la cuenca del Océano Pacífico tropical al este del huso horario. Este evento oceánico está asociado con una fluctuación de un patrón de presión de superficie tropical y subtropical a escala global llamada la Oscilación del Sur. Este fenómeno acoplado atmósfera-océano, con escalas de tiempo preferidas de dos a aproximadamente siete años, se conoce como El Niño – Oscilación del Sur (ENOS). A menudo se mide por la diferencia de anomalía de la presión superficial entre Tahití y Darwin o las temperaturas de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial central y oriental. Durante un evento de ENOS, los vientos alisios predominantes se debilitan, reduciendo el afloramiento y alterando las corrientes oceánicas, de modo que la temperatura de la superficie del mar se calienta, lo que debilita aún más los vientos alisios. Este evento tiene un gran impacto en el viento, la temperatura de la superficie del mar y los patrones de precipitación en el Pacífico tropical. Tiene efectos climáticos en toda la región del Pacífico y en muchas otras partes del mundo, a través de teleconexiones globales. La fase fría de ENSO se llama La Niña.

Eliminación de dióxido de carbono (CDR, por su sigla en inglés)

Los métodos de eliminación de dióxido de carbono se refieren a un conjunto de técnicas que tienen como objetivo eliminar el CO₂ directamente de la atmósfera ya sea (1) aumentando los sumideros naturales de carbono o (2) utilizando ingeniería química para eliminar el

CO₂, con la intención de reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera. Los métodos de RDC incluyen los sistemas oceánicos, terrestres y técnicos, incluidos métodos como la fertilización con hierro, la forestación a gran escala y la captura directa de CO₂ de la atmósfera mediante medios químicos diseñados. Algunos métodos de CDR se incluyen en la categoría de geoingeniería, aunque este no sea el caso de otros, y la distinción se basa en la magnitud, la escala y el impacto de las actividades de CDR en particular.

Emisiones compatibles

Los Modelos del Sistema Terrestre que simulan el ciclo de carbono de la tierra y el océano, pueden calcular las emisiones de CO₂ que son compatibles con una trayectoria de concentración de CO₂ en la atmósfera dada. Las emisiones compatibles durante un período de tiempo dado son iguales al aumento de carbono durante ese mismo período en la suma de los tres reservorios activos: la atmósfera, la tierra y el océano.

Emisiones de combustibles fósiles

Emisiones de gases de efecto invernadero (en particular dióxido de carbono), otras trazas de gases y aerosoles resultantes de la combustión de combustibles de depósitos de carbono fósiles como el petróleo, el gas y el carbón.

Emisión equivalente de dióxido de carbono (CO₂)

La cantidad de emisión de dióxido de carbono que causaría el mismo forzamiento radiativo integrado, en un horizonte de tiempo dado, como una cantidad emitida de un gas de efecto invernadero o una mezcla de gases de efecto invernadero. La emisión equivalente de dióxido de carbono se obtiene multiplicando la emisión de un gas de efecto invernadero por su potencial de calentamiento global para el horizonte temporal dado. Para una mezcla de gases de efecto invernadero, se obtiene sumando las emisiones equivalentes de dióxido de carbono de cada gas. La emisión equivalente de dióxido de carbono es una escala común para comparar las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero, pero no implica la equivalencia de las respuestas correspondientes al cambio climático. Véase también la Concentración Equivalente de Dióxido de Carbono.

Escalas Espaciales y Temporales

El clima puede variar en una amplia gama de escalas espaciales y temporales. Las escalas espaciales pueden variar desde local (menos de 100 000 km²), regional (100 000 a 10 millones de km²) y hasta continental (10 a 100 millones de km²). Las escalas temporales pueden variar desde estacionales hasta geológicas (hasta cientos de millones de años).

Escenario

Una descripción plausible de cómo puede desarrollarse el futuro sobre la base de un conjunto coherente e internamente consistente de supuestos sobre las fuerzas impulsoras clave (por ejemplo, la tasa de cambio tecnológico, los precios) y las relaciones. Tenga en cuenta que

los escenarios no son predicciones ni pronósticos, pero son útiles para proporcionar una visión de las implicaciones de los desarrollos y acciones.

Escenario climático

Una representación plausible y, a menudo, simplificada del clima futuro, basada en un conjunto internamente consistente de relaciones climatológicas que se ha construido para su uso explícito en la investigación de las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, que a menudo sirve como insumo para los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas a menudo sirven como materia prima para construir escenarios climáticos, pero los escenarios climáticos generalmente requieren información adicional, como el clima actual observado. Un escenario de cambio climático es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual.

Escenario de emisión

Una representación plausible del desarrollo futuro de las emisiones de sustancias potencialmente radiactivas (p. ej., gases de efecto invernadero, aerosoles) basada en un conjunto coherente e internamente consistente de supuestos sobre las fuerzas impulsoras (como el desarrollo demográfico y socioeconómico, el cambio tecnológico) y sus relaciones clave. Los escenarios de concentración, derivados de los escenarios de emisión, se utilizan como entrada en un modelo climático para calcular las proyecciones climáticas. En el IPCC (1992) se presentó un conjunto de escenarios de emisiones que se utilizaron como base para las proyecciones climáticas en el IPCC (1996). Estos escenarios de emisión se conocen como los escenarios IS92. En el Informe especial del IPCC sobre escenarios de emisión, se publicaron los llamados escenarios SRES, algunos de los cuales se utilizaron, entre otros, como base para las proyecciones climáticas presentadas en los Capítulos 9 a 11. De IPCC (2001) y los capítulos 10 y 11 de IPCC (2007). Los nuevos escenarios de emisiones para el cambio climático, las cuatro vías representativas de concentración se desarrollaron para, pero independientemente de, la presente evaluación del IPCC. Ver también Escenario Climático y Escenario.

Escenarios SRES

Escenarios de emisiones desarrollados por Nakićenović y Swart (2000) que se utilizan, entre otros, como base para algunas de las proyecciones climáticas que se muestran en los Capítulos 9 a 11 de IPCC (2001) y los Capítulos 10 y 11 de IPCC (2007). Los siguientes términos son relevantes para una mejor comprensión de la estructura y el uso del conjunto de escenarios SRES:

Familia de Escenarios. Escenarios que tienen una historia similar de cambio demográfico, social, económico y técnico. Cuatro familias de escenarios comprenden el conjunto de escenarios SRES: A1, A2, B1 y B2.

Escenario ilustrativo. Un escenario ilustrativo para cada uno de los seis grupos de escenarios reflejados en el Resumen para Responsables de Políticas de Nakićenović y Swart (2000). Incluyen cuatro escenarios de marcadores revisados para los grupos de escenarios A1B, A2, B1, B2 y dos escenarios adicionales para los grupos A1FI y A1T.

Todos los grupos de escenarios son igualmente sólidos.

Escenario de Marcador. Un escenario que se publicó originalmente como borrador en el sitio web de SRES para representar una familia de escenarios determinada. La elección de los marcadores se basó en cuál de las cuantificaciones iniciales reflejaban mejor la historia y las características de modelos específicos. Los marcadores no son más probables que otros escenarios, pero el equipo de redacción de SRES los considera (como) ilustrativos de una historia en particular. Se incluyen en forma revisada en Nakićenović y Swart (2000). Estos escenarios recibieron el escrutinio más cercano de todo el equipo de redacción y mediante el proceso abierto de SRES. También se seleccionaron escenarios para ilustrar los otros dos grupos de escenarios.

Historia. Una descripción narrativa de un escenario (o familia de escenarios), destacando las características principales del escenario, las relaciones entre las fuerzas motrices clave y la dinámica de su evolución.

Escorrentía

Aquella parte de precipitaciones que no se evapora y no se transpira, sino que fluye a través del suelo o sobre la superficie del suelo y regresa a los cuerpos de agua. Ver también Ciclo Hidrológico.

Expansión Térmica

En relación con el nivel del mar, esto se refiere al aumento en el volumen (y la disminución en la densidad) que resulta del calentamiento del agua. Un calentamiento del océano conduce a una expansión del volumen del océano y por lo tanto un aumento en el nivel del mar. Véase también Cambio del Nivel del Mar.

Evento de clima extremo

Un evento de clima extremo es un evento raro en un lugar y época particular del año. Las definiciones de raro varían, pero un evento climático extremo normalmente sería tan raro o más raro que el percentil 10 o 90 de una función de densidad de probabilidad estimada a partir de observaciones. Por definición, las características de lo que se conoce como clima extremo pueden variar de un lugar a otro en un sentido absoluto. Cuando un patrón de clima extremo persiste durante algún tiempo, como una temporada, se puede clasificar como un evento climático extremo, especialmente si produce un promedio o un total que sea extremo (por ejemplo, sequía o fuertes lluvias durante una temporada).

Fertilización con hierro

Introducción deliberada de hierro en el océano superior destinado a mejorar la productividad biológica que puede secuestrar dióxido de carbono atmosférico adicional en los océanos.

Forzantes climáticos a corto plazo (NTCF, por sus siglas en inglés)

Se refiere a aquellos compuestos cuyo impacto en el clima ocurre principalmente durante la primera década después de su emisión. Este conjunto de compuestos está conformado principalmente por aquellos con corta duración en la atmósfera en comparación con gases de efecto invernadero bien mezclados, y en ocasiones se ha denominado forzadores climáticos de corta vida o contaminantes climáticos de corta vida. Sin embargo, la propiedad común que es de mayor interés para una evaluación del clima es la escala de tiempo en que se siente su impacto en el clima. Este conjunto de compuestos incluye el metano, que también es un gas de efecto invernadero bien mezclado, así como el ozono y aerosoles, o sus precursores, y algunas especies halogenadas que no son gases de efecto invernadero bien mezclados. Estos compuestos no se acumulan en la atmósfera en escalas de tiempo decenales a centenarias, por lo que su efecto sobre el clima es predominantemente a corto plazo después de su emisión.

Fotosíntesis

El proceso mediante el cual las plantas toman dióxido de carbono del aire (o bicarbonato en agua) para generar carbohidratos, liberando oxígeno en el proceso. Existen varias vías de fotosíntesis con diferentes respuestas a las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera. Véase también Fertilización con Dióxido de Carbono.

Fuente

Cualquier proceso, actividad o mecanismo que libere un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero o un aerosol a la atmósfera.

Flujo de Corriente

Flujo de agua dentro de un canal de río, por ejemplo, expresado en $m^3 s^{-1}$. Un sinónimo para la descarga del río.

Geoide

La superficie equipotencial que tiene el mismo geopotencial en cada latitud y longitud en todo el mundo (los geodesistas denotan este potencial W_0) que mejor se aproxima al nivel medio del mar. Es la superficie de referencia para la medición de altitud. En la práctica, existen variaciones de las definiciones del geoide dependiendo de la forma en que la marea permanente (la marea gravitacional de frecuencia cero debida al Sol y la Luna) se considera en geo.

Glaciar

Una masa perenne de hielo terrestre que se origina de nieve comprimida, muestra evidencia de flujo pasado o presente (a través de la deformación interna y / o deslizamiento en la base) y está limitada por la tensión interna y la fricción en su base y sus lados. Un glaciar se mantiene mediante la acumulación de nieve a grandes alturas, equilibrado al derretirse en altitudes bajas y / o descarga al mar. Una masa de hielo del mismo origen que los glaciares, pero de tamaño continental, se denomina capa de hielo.

Haloclina

Una capa en la columna de agua oceánica en la que la salinidad cambia rápidamente con la profundidad. En general, el agua salada es más densa y se encuentra debajo del agua menos salada. En algunos océanos de latitudes altas, las aguas superficiales pueden ser más frías que las aguas profundas y la haloclina es responsable de mantener la estabilidad de la columna de agua y aislar las aguas superficiales de las aguas profundas. Véase también Termoclina.

Hielo marino

Hielo que se encuentra en la superficie del mar que se originó a partir de la congelación del agua de mar. El hielo marino pueden ser piezas discontinuas (témpanos de hielo) que se mueven en la superficie del océano por el viento y las corrientes (paquete de hielo), o una lámina inmóvil adherida a la costa (hielo terrestre). La concentración de hielo marino es la fracción del océano cubierta por hielo. El hielo marino de menos de un año se llama hielo de primer año. El hielo perenne es hielo marino que sobrevive al menos un verano. Puede subdividirse en hielo de segundo año y hielo de varios años, donde el hielo de varios años ha sobrevivido al menos dos veranos.

Hidrosfera

El componente del sistema climático que comprende aguas líquidas superficiales y subterráneas, como océanos, mares, ríos, lagos de agua dulce, aguas subterráneas, etc.

Huella digital

El patrón de respuesta del clima en el espacio y / o el tiempo a un forzamiento específico se conoce comúnmente como una huella digital. Los patrones espaciales de respuesta del nivel del mar al derretimiento de glaciares o capas de hielo (u otros cambios en la carga de la superficie) también se conocen como huellas dactilares. Las huellas dactilares se utilizan para detectar la presencia de esta respuesta en las observaciones y, por lo general, se estiman utilizando simulaciones de modelos de clima forzado.

Humedad Específica

Especifica la relación de la masa de vapor de agua a la masa total de aire húmedo.

Humedad relativa

Especifica la relación entre la presión real del vapor de agua y la saturación con respecto al agua líquida o hielo a la misma temperatura. Ver también Humedad Específica.

Incertidumbre

Un estado de conocimiento incompleto que puede resultar de una falta de información o de un desacuerdo sobre lo que se conoce o incluso se puede conocer. Puede tener muchos tipos de fuentes, desde imprecisiones en los datos hasta terminología o conceptos definidos de forma

ambigua, o proyecciones inciertas del comportamiento humano. Por lo tanto, la incertidumbre puede representarse mediante medidas cuantitativas (por ejemplo, una función de densidad de probabilidad) o mediante declaraciones cualitativas (por ejemplo, reflejando el juicio de un equipo de expertos).

Índice de clima

Serie de tiempo construida a partir de variables climáticas que proporciona un resumen agregado del estado del sistema climático. Por ejemplo, la diferencia entre la presión del nivel del mar en Islandia y las Azores proporciona un índice NAO histórico simple, pero útil. Debido a sus propiedades óptimas, los índices climáticos a menudo se definen mediante componentes principales: combinaciones lineales de variables climáticas en diferentes ubicaciones que tienen una varianza máxima sujeta a ciertas restricciones de normalización (por ejemplo, los índices NAM y SAM, que son componentes principales de las anomalías de presión mapeadas en el hemisferio norte y hemisferio sur, respectivamente).

Insolación

La cantidad de radiación solar que llega a la Tierra por latitud y por estación, medida en $W m^{-2}$. Por lo general, la insolación se refiere a la radiación que llega a la parte superior de la atmósfera. A veces se especifica que se refiere a la radiación que llega a la superficie de la Tierra. Ver también Total Irradiancia Solar.

Interglaciales o interglaciaciones

Los períodos cálidos entre glaciaciones de la edad de hielo. A menudo se define como los períodos en que los niveles del mar estaban cerca del nivel del mar actual. Para el Último Interglacial (LIG) esto ocurrió entre aproximadamente 129 y 116 ka (miles de años) antes del presente (definido como 1950), aunque el período cálido comenzó en algunas áreas unos pocos miles de años antes. En términos del registro de isótopos de oxígeno, las interglaciaciones se definen como el intervalo entre el punto medio de la terminación precedente y el inicio de la siguiente glaciación. La interglaciación actual, el Holoceno, comenzó hace 11.65 ka antes del presente, aunque los niveles del mar a nivel mundial no se acercaron a su posición actual hasta aproximadamente 7 ka antes del presente.

Irreversibilidad

Un estado perturbado de un sistema dinámico se define como irreversible en una escala de tiempo determinada, si la escala de tiempo de recuperación de este estado debido a procesos naturales es significativamente más larga que el tiempo que tarda el sistema en alcanzar este estado perturbado. En el contexto de WG I, la escala de tiempo de interés es centenaria a milenaria. Véase también Punto de Inflexión.

Isostática o isostasia

Se refiere a la respuesta de la tierra a los cambios en la carga superficial. Esta respuesta es elástica en escalas de tiempo cortas, como en la respuesta tierra-océano a los cambios recientes en la glaciación de las montañas, o viscoelástica en escalas de tiempo más largas, como en la respuesta a la última deglaciación después del último máximo glacial.

Línea base / de referencia

La línea base (o de referencia) es el estado contra el cual se mide el cambio. Un período de referencia es el período en relación con el cual se calculan las anomalías. La concentración de referencia de un gas traza es la medida en un lugar que no está influenciado por las emisiones antropogénicas locales.

Litosfera

La capa superior de la Tierra sólida, tanto continental como oceánica, que comprende todas las rocas de la corteza y la parte fría, principalmente elástica del manto superior. La actividad volcánica, aunque forma parte de la litosfera, no se considera parte del sistema climático, sino que actúa como un factor forzado externo. Véase también Isostática.

Marejada Ciclónica

El aumento temporal, en una localidad particular, en la altura del mar debido a condiciones meteorológicas extremas (baja presión atmosférica y / o vientos fuertes). La marejada ciclónica se define como el exceso por encima del nivel esperado de la sola variación de la marea en ese momento y lugar.

Mareógrafo

Un dispositivo en una ubicación costera o de aguas profundas que mide continuamente el nivel del mar con respecto a la tierra adyacente. El promedio de tiempo del nivel del mar registrado de esta manera proporciona los cambios regulares observados del nivel relativo del mar.

Masa de Agua

Un cuerpo de agua de mar con propiedades identificables (temperatura, salinidad, densidad, trazadores químicos) resultantes de su proceso de formación único. Las masas de agua a menudo se identifican a través de un extremo vertical u horizontal de una propiedad como la salinidad. El Agua Intermedia del Pacífico Norte (NPIW) y el Agua Intermedia Antártica (AAIW) son ejemplos de masas de agua.

Metadatos

Información sobre datos meteorológicos y climatológicos sobre cómo y cuándo fueron medidos, su calidad, problemas conocidos y otras características.

Metano (CH₄)

El metano es uno de los seis gases de efecto invernadero que se deben mitigar en virtud del Protocolo de Kyoto y es el componente principal del gas natural y está asociado con todos los combustibles de hidrocarburos, la ganadería y la agricultura.

Métrico

Una medición consistente de una característica de un objeto o actividad que de otro modo es difícil de cuantificar. En el contexto de la evaluación de modelos climáticos, esta es una medida cuantitativa de acuerdo entre una cantidad simulada y observada que se puede utilizar para evaluar el rendimiento de modelos individuales.

Mineralización / Remineralización

La conversión de un elemento de su forma orgánica a una forma inorgánica como resultado de la descomposición microbiana. En la mineralización de nitrógeno, el nitrógeno orgánico de residuos vegetales y animales en descomposición (proteínas, ácidos nucleicos, amino azúcares y urea) se convierte en amoníaco (NH₃) y amonio (NH₄⁺) por actividad biológica.

Mitigación

Una intervención humana para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero.

Modelo climático (espectral o jerárquico)

Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de retroalimentación, y explica algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático puede representarse mediante modelos de complejidad variable, es decir, para cualquier componente o combinación de componentes se puede identificar un espectro o jerarquía de modelos, que se diferencie en aspectos como el número de dimensiones espaciales, la medida en que los procesos químicos o biológicos están representados explícitamente o el nivel en el que están involucradas las parametrizaciones empíricas. Los Modelos de Circulación General Atmosférica-Océano (AOGCM) proporcionan una representación del sistema climático que está cerca o en el extremo más completo del espectro disponible en la actualidad. Hay una evolución hacia modelos más complejos con química interactiva y biología. Los modelos climáticos se aplican como una herramienta de investigación para estudiar y simular el clima y para fines operativos, incluidas las predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales.

Modelo Climático Regional (CRM)

Un modelo climático a mayor resolución en un área limitada. Tales modelos se utilizan para reducir los resultados del clima global en dominios regionales específicos.

Modelo de Losa Oceánica

Una representación simplificada en un modelo climático del océano como una capa de agua inmóvil con una profundidad de 50 a 100 m. Los modelos climáticos con una losa oceánica se pueden usar solo para estimar la respuesta de equilibrio del clima a un forzamiento dado, no la evolución transitoria del clima. Véase también Experimento de Equilibrio y Clima Transitorio.

Modo de variabilidad climática.

Estructura subyacente espacio-tiempo con patrón espacial preferido y variación temporal que ayuda a tener en cuenta las características generales de la varianza y las teleconexiones. A menudo se considera que un modo de variabilidad es el producto de un patrón de clima espacial y una serie de tiempo de índice de clima asociado.

Nivel medio del mar

El nivel de la superficie del océano en un punto particular promediado durante un período prolongado de tiempo, como un mes o un año. El nivel medio del mar se utiliza a menudo como un dato nacional al que se refieren las alturas en tierra.

Nivel relativo del mar

El nivel del mar medido por un indicador de marea con respecto al lugar de la Tierra en que se encuentra. Ver también Nivel Medio del Mar y Cambio del Nivel del Mar.

Nivel del mar equivalente (SLE)

El equivalente al nivel del mar de una masa de agua (hielo, líquido o vapor) es aquella masa, convertida a un volumen con una densidad de 1000 kg m^{-3} , y dividida por el área de superficie oceánica actual de $3.625 \times 10^{14} \text{ m}^2$. Por lo tanto, 362.5 Gt de masa de agua agregada al océano causará un aumento de 1 mm del nivel medio global del mar.

Oscilación Decenal del Pacífico (DOP)

El patrón y las series de tiempo de la primera función empírica ortogonal de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico Norte al norte de 20° N . El PDO ampliado para cubrir toda la Cuenca del Pacífico se conoce como la Oscilación del Pacífico Inter-decenal. La DOP y la OPI muestran una evolución temporal similar.

Óxido nitroso (N_2O)

Uno de los seis gases de efecto invernadero a ser mitigados bajo el Protocolo de Kioto. La principal fuente antropogénica de óxido nitroso es la agricultura (manejo de estiércol y estiércol animal), pero también hay contribuciones importantes del tratamiento de aguas residuales, la combustión de combustibles fósiles y procesos industriales químicos. El óxido nitroso también se produce naturalmente a partir de una amplia variedad de fuentes biológicas en el suelo y el agua, particularmente la acción microbiana en los bosques tropicales húmedos.

Ozono

El ozono, la forma triatómica del oxígeno (O_3), es un constituyente atmosférico gaseoso. En la troposfera, se crea de forma natural y por reacciones fotoquímicas que involucran gases resultantes de actividades humanas (smog). El ozono troposférico actúa como un gas de efecto invernadero. En la estratosfera, se crea por la interacción entre la radiación solar ultravioleta y el oxígeno molecular (O_2). El ozono estratosférico desempeña un papel dominante en el equilibrio radiativo estratosférico. Su concentración es máxima en la capa de ozono.

pH

Es una medida adimensional de la acidez del agua (o cualquier solución) dada por su concentración de iones de hidrógeno (H^+). El pH se mide en una escala logarítmica donde $pH = -\log_{10}(H^+)$. Por lo tanto, una disminución del pH de 1 unidad corresponde a un aumento de 10 veces en la concentración de H^+ o acidez.

Parametrización

En los modelos climáticos, este término se refiere a la técnica de representar procesos que no se pueden resolver explícitamente en la resolución espacial o temporal del modelo (procesos a escala de subcuadrícula) mediante relaciones entre las variables a gran escala resueltas por el modelo y el área o el efecto de tiempo calculado de tales procesos de escala subcuadrícula.

Patrón climático

Un conjunto de coeficientes que varían espacialmente obtenidos por “proyección” (regresión) de variables climáticas en una serie de tiempo de índice de clima. Cuando el índice del clima es un componente principal, el patrón del clima es un vector propio de la matriz de covarianza, conocido como función empírica ortogonal (EOF) en la ciencia del clima.

Percentiles

El conjunto de valores de partición que divide la población total de una distribución en 100 partes iguales, el percentil 50 correspondiente a la mediana de la población.

Periodo de retorno

Una estimación del intervalo de tiempo promedio entre ocurrencias de un evento (por ejemplo, inundación o lluvia extrema) de (o por debajo / sobre) un tamaño o intensidad definidos.

Permafrost cercano la superficie

Un término que se usa con frecuencia en las aplicaciones de modelos climáticos para referirse al permafrost a profundidades cercanas a la superficie del suelo (generalmente hasta 3,5 m). En los estudios de modelos, el permafrost cerca de la superficie generalmente

se diagnostica a partir de los promedios climáticos de 20 o 30 años, que es diferente de la definición convencional de permafrost. La desaparición del permafrost cercano a la superficie en una ubicación no excluye la persistencia a largo plazo del permafrost a mayor profundidad.

Plancton

Microorganismos que viven en las capas superiores de sistemas acuáticos. Se hace una distinción entre el fitoplancton, que depende de la fotosíntesis para su suministro de energía, y el zooplancton, que se alimenta de fitoplancton.

Pleistoceno

La Época del Pleistoceno es la primera de las dos épocas en el Sistema Cuaternario, que se extiende desde 2.59 Ma hasta el comienzo del Holoceno en 11.65 ka.

Plioceno

La Época Plioceno es la última época del Sistema Neógeno y se extiende desde 5.33 Ma hasta el comienzo del Pleistoceno en 2.59 Ma.

Potencial de calentamiento global (GWP)

Un índice, basado en las propiedades radiativas de los gases de efecto invernadero, que mide el forzamiento radiativo después de una emisión de pulsos de una masa unitaria de un gas de efecto invernadero dado en la atmósfera actual integrada en un horizonte temporal elegido, en relación con el del dióxido de carbono. El GWP representa el efecto combinado de los diferentes tiempos en que estos gases permanecen en la atmósfera y su eficacia relativa en causar el forzamiento radiativo. El Protocolo de Kyoto se basa en los GWP de las emisiones de pulsos durante un período de 100 años.

Precursores

Compuestos atmosféricos que no son gases de efecto invernadero o aerosoles, pero que tienen un efecto sobre las concentraciones de gases de efecto invernadero o aerosoles al participar en procesos físicos o químicos que regulan sus tasas de producción o destrucción.

Predicción climática

Una predicción climática o predicción climática es el resultado de un intento de producir (a partir de un estado particular del sistema climático) una estimación de la evolución real del clima en el futuro, por ejemplo, a escala estacional, interanual o decadal. Debido a que la evolución futura del sistema climático puede ser altamente sensible a las condiciones iniciales, tales predicciones son generalmente probabilísticas por naturaleza.

Predictibilidad

La medida en que los estados futuros de un sistema pueden predecirse basándose en el conocimiento de los estados actuales y pasados del sistema. Debido a que el conocimiento del pasado y los estados actuales del sistema climático es generalmente imperfecto, al igual que los modelos que utilizan este conocimiento para producir una predicción del clima, y debido a que el sistema climático es inherentemente no lineal y caótico, la predictibilidad del sistema climático es inherentemente limitada. Incluso con modelos y observaciones arbitrariamente exactos, todavía puede haber límites para la predictibilidad de un sistema no lineal de este tipo.

Probabilidad

La posibilidad de que ocurra un resultado específico, donde esto podría estimarse probabilísticamente. Véase también Confianza e Incertidumbre.

Producción Primaria Bruta (GPP, por sus siglas en inglés)

La cantidad de carbono fijada por los autótrofos (por ejemplo, plantas y algas).

Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) fue adoptado en 1997 en Kioto, Japón, en la Tercera Sesión de la Conferencia de las Partes (COP) de la CMNUCC. Contiene compromisos legalmente vinculantes, además de los incluidos en la CMNUCC. Los países incluidos en el Anexo B del Protocolo (la mayoría de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico y los países con economías en transición) acordaron reducir sus emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre) al menos a 5% por debajo de los niveles de 1990 en el período de compromiso 2008-2012. El Protocolo de Kioto entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

Protocolo de Montreal

El Protocolo de Montreal sobre sustancias que debilitan la capa de ozono se adoptó en Montreal en 1987, y posteriormente se ajustó y modificó en Londres (1990), Copenhague (1992), Viena (1995), Montreal (1997) y Beijing (1999). Controla el consumo y la producción de productos químicos que contienen cloro y bromo que destruyen el ozono estratosférico, como los clorofluorocarbonos, el metilcloroformo, el tetracloruro de carbono y muchos otros.

Proyección

Evolución futura potencial de una cantidad o conjunto de cantidades, a menudo calculadas con la ayuda de un modelo. A diferencia de las predicciones, las proyecciones están condicionadas a supuestos relacionados, por ejemplo, futuros desarrollos socioeconómicos y tecnológicos que pueden o no realizarse.

Proyección climática

Una proyección climática es la respuesta simulada del sistema climático a un escenario de emisiones o concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles, generalmente derivados del uso de modelos climáticos.

Proxy

Un indicador de clima proxy es un registro que se interpreta utilizando principios físicos y biofísicos, para representar una combinación de variaciones relacionadas con el clima en el tiempo. Los datos relacionados con el clima derivados de esta manera se conocen como datos proxy. Ejemplos de proxies incluyen análisis de polen, registros de anillos de árboles, espeleotemas, características de los corales y diversos datos derivados de sedimentos marinos y núcleos de hielo. Los datos de proxy se pueden calibrar para proporcionar información climática cuantitativa.

Punto de Inflexión

En el clima, un umbral crítico hipotético cuando el clima global o regional cambia de un estado estable a otro estado estable. El evento de punto de inflexión puede ser irreversible. Ver también Irreversibilidad.

Radiación Terrestre

Radiación emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. También se conoce como radiación infrarroja térmica o de onda larga, y debe distinguirse de la radiación infrarroja cercana que forma parte del espectro solar. La radiación infrarroja, en general, tiene un rango distintivo de longitudes de onda (espectro) más largo que la longitud de onda de luz roja en la parte visible del espectro. El espectro de radiación terrestre es casi totalmente distinto del de onda corta o radiación solar debido a la diferencia de temperatura entre el Sol y el sistema Tierra-atmósfera.

Rango de temperatura diurna

La diferencia entre la temperatura máxima y mínima durante un período de 24 horas.

Reducción de escala

Método que deriva información de escala local a regional (10 a 100 km) de modelos a gran escala para el análisis de datos. Existen dos métodos principales: reducción de escala dinámica y reducción de escala empírica / estadística. El método dinámico utiliza la salida de los modelos climáticos regionales, los modelos globales con resolución espacial variable o los modelos globales de alta resolución. Los métodos empíricos / estadísticos desarrollan relaciones estadísticas que vinculan las variables atmosféricas a gran escala con las variables climáticas locales / regionales. En todos los casos, la calidad del modelo de conducción sigue siendo una limitación importante en la calidad de la información en escala reducida.

Régimen climático

Un estado del sistema climático que ocurre con más frecuencia que en estados cercanos debido a una recurrencia más frecuente.

Región

Territorio caracterizado por características geográficas y climatológicas específicas. El clima de una región se ve afectado por características a escala regional y local, como la topografía, las características de uso del suelo y los lagos, así como las influencias remotas de otras regiones. Véase también Teleconexión.

Reservorio

Un componente del sistema climático, distinto de la atmósfera, que tiene la capacidad de almacenar, acumular o liberar una sustancia preocupante en cuestión, por ejemplo, carbono, un gas de efecto invernadero o un precursor. Océanos, suelos y bosques son ejemplos de reservorios de carbono. Pool es un término equivalente (tenga en cuenta que la definición de pool a menudo incluye la atmósfera). La cantidad absoluta de la sustancia en cuestión que se mantiene dentro de un reservorio en un momento específico se denomina stock.

Resolución

En los modelos climáticos, este término se refiere a la distancia física (metros o grados) entre cada punto de la cuadrícula utilizada para calcular las ecuaciones. La resolución temporal se refiere al paso de tiempo o al tiempo transcurrido entre cada cálculo modelo de las ecuaciones.

Respiración

El proceso mediante el cual los organismos vivos convierten la materia orgánica en dióxido de carbono, liberando energía y consumiendo oxígeno molecular.

Respiración autótrofa

Respiración por organismos fotosintéticos (ver fotosíntesis) (por ejemplo, plantas y algas).

Respiración heterótrofa

La conversión de materia orgánica en dióxido de carbono por parte de organismos distintos a los autótrofos.

Retroalimentación del ciclo clima-carbono

Una retroalimentación climática que involucra cambios en las propiedades del ciclo de carbono de la tierra y el océano en respuesta al cambio climático. En el océano, los cambios en la temperatura y la circulación del océano podrían afectar el flujo de CO₂ atmósfera-océano; en los continentes, el cambio climático podría afectar la fotosíntesis de las plantas y la respiración microbiana del suelo y, por lo tanto, el flujo de CO₂ entre la atmósfera y la biosfera terrestre.

Retroalimentación climática

Una interacción en la que una perturbación en una cantidad de clima causa un cambio en una segunda, y el cambio en la segunda cantidad conduce finalmente a un cambio adicional en la primera. Una retroalimentación negativa es aquella en la que la perturbación inicial se ve debilitada por los cambios que causa; una retroalimentación positiva es aquella en la que se mejora la perturbación inicial. En este Informe de Evaluación IV, a menudo se utiliza una definición más estrecha en la que la cantidad de clima perturbado es la temperatura media global de la superficie, que a su vez provoca cambios en el presupuesto de radiación global. En cualquier caso, la perturbación inicial puede ser forzada externamente o surgir como parte de la variabilidad interna. Ver también el parámetro de retroalimentación del clima.

Revolución industrial

Período de rápido crecimiento industrial con consecuencias sociales y económicas de gran alcance, que comenzó en Gran Bretaña durante la segunda mitad del siglo XVIII y se extendió a Europa y luego a otros países, incluido Estados Unidos. La invención de la máquina de vapor fue un desencadenante importante de este desarrollo. La revolución industrial marca el comienzo de un fuerte aumento en el uso de combustibles fósiles y la emisión, en particular, de dióxido de carbono fósil. En este informe, los términos preindustrial e industrial se refieren, de manera un tanto arbitraria, a los períodos anteriores y posteriores a 1750, respectivamente.

Sensibilidad Climática

En los informes del IPCC, sensibilidad climática de equilibrio (Unidad: $^{\circ}\text{C}$) se refiere al cambio de equilibrio (estado estable) en la temperatura media anual global de la superficie después de duplicar la concentración de dióxido de carbono equivalente en la atmósfera. Debido a las limitaciones computacionales, la sensibilidad climática de equilibrio en un modelo climático a veces se estima al ejecutar un modelo de circulación general atmosférico acoplado a un modelo oceánico de capa mixta, porque la sensibilidad climática de equilibrio está determinada en gran medida por los procesos atmosféricos. Se pueden ejecutar modelos eficientes para lograr equilibrio con un océano dinámico. El parámetro de la sensibilidad climática (unidades: $^{\circ}\text{C} (\text{W m}^{-2})^{-1}$) se refiere al cambio de equilibrio en la temperatura media anual global de la superficie después de un cambio de unidad en el forzamiento radiativo.

- La sensibilidad climática efectiva (unidades: $^{\circ}\text{C}$) es una estimación de la respuesta de la temperatura de la superficie media global al doble de la concentración de dióxido de carbono que se evalúa a partir de la salida del modelo u observaciones para determinar la evolución de las condiciones del no equilibrio. Es una medida de las fortalezas de las retroalimentaciones climáticas en un momento determinado y puede variar con la historia y estado del clima y, por lo tanto, puede diferir de la sensibilidad climática de equilibrio.
- La respuesta climática transitoria (unidades: $^{\circ}\text{C}$) es el cambio en la temperatura media global de la superficie, promediada durante un período de 20 años, centrada en el momento de duplicación del dióxido de carbono atmosférico, en una simulación de

modelo climático en la que el CO₂ aumenta al 1% año⁻¹. Es una medida de la resistencia y rapidez de la respuesta de la temperatura de la superficie al forzamiento de los gases de efecto invernadero.

Sensibilidad del sistema terrestre

La respuesta a la temperatura de equilibrio del sistema de ciclo de atmósfera, océano, criósfera, vegetación y carbono acoplados a una duplicación de la concentración de CO₂ en la atmósfera se conoce como sensibilidad del sistema terrestre. Debido a que permite que los componentes lentos (por ejemplo, las capas de hielo, la vegetación) del sistema climático se ajusten a la perturbación externa, puede diferir sustancialmente de los modelos acoplados atmósfera-océano.

Sistema climático

Sistema altamente complejo que consta de cinco componentes principales: la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la litósfera y la biosfera, y las interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y debido a forzamientos externos, como erupciones volcánicas, variaciones solares y forzamientos antropogénicos, como la composición cambiante de la atmósfera y el cambio de uso de la tierra.

Subducción

Proceso oceánico en el que las aguas superficiales entran en el interior del océano desde la capa mixta superficial a través del bombeo de Ekman y la advección lateral. Esto último ocurre cuando las aguas superficiales se advierten a una región donde la capa superficial local es menos densa y, por lo tanto, debe deslizarse por debajo de la capa superficial, generalmente sin cambio en la densidad.

Sumidero

Cualquier proceso, actividad o mecanismo que elimine cualquier gas de efecto invernadero, aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero o un aerosol de la atmósfera.

Temperatura del aire en la superficie terrestre

La temperatura del aire en la superficie se mide en pantallas bien ventiladas sobre tierra a 1,5 m sobre el suelo.

Temperatura de la superficie del mar (TSM)

Es la temperatura del agua de la masa de agua en los metros superiores del océano, medida por barcos, boyas y flotadores. Desde barcos, las mediciones de muestras de agua en cubos se cambiaron principalmente en la década de 1940 a muestras de agua de admisión del motor. También se utilizan mediciones satelitales de la temperatura de la superficie (capa superior; una fracción de milímetro de espesor) en el infrarrojo o el centímetro superior o

menor en el rango de microondas, pero deben ajustarse para que sean compatibles con la temperatura general.

Tendencia

En este informe, la palabra tendencia designa un cambio, generalmente monótonico en el tiempo, en el valor de una variable.

Termoclina

La capa de gradiente de temperatura vertical máxima en el océano, que se encuentra entre la superficie del océano y el océano abisal. En las regiones subtropicales, sus aguas de origen son típicamente aguas superficiales en latitudes más altas que han subducido (ver Subducción) y se han desplazado hacia el ecuador. En latitudes altas, a veces está ausente, reemplazado por una haloclina, que es una capa de gradiente de salinidad vertical máxima.

Tiempo de Respuesta

El tiempo de respuesta o el tiempo de ajuste es el tiempo necesario para que el sistema climático o sus componentes se vuelvan a equilibrar a un nuevo estado, luego de un forzamiento resultante de procesos externos. Es muy diferente para varios componentes del sistema climático. El tiempo de respuesta de la troposfera es relativamente corto, de días a semanas, mientras que la estratosfera alcanza el equilibrio en una escala de tiempo de típicamente unos pocos meses. Debido a su gran capacidad calorífica, los océanos tienen un tiempo de respuesta mucho más largo, por lo general décadas, hasta siglos o milenios. El tiempo de respuesta del sistema de superficie-troposfera fuertemente acoplado es, por lo tanto, lento en comparación con el de la estratosfera, y está determinado principalmente por los océanos. La biosfera puede responder rápidamente (por ejemplo, a las sequías), pero también muy lentamente a los cambios impuestos. Consulte la vida útil para una definición diferente del tiempo de respuesta pertinente a la velocidad de los procesos que afectan la concentración de gases traza.

Transporte de Ekman

El transporte total que resulta de un equilibrio entre la fuerza de Coriolis y la tensión de fricción debida a la acción del viento sobre la superficie del océano. Véase también Bombeo de Ekman.

Valor de Retorno

El valor más alto (o, alternativamente, el más bajo) de una variable dada, en promedio ocurre una vez en un período de tiempo dado (por ejemplo, en 10 años). Véase también el Período de Retorno.

Variabilidad interna

Véase Variabilidad Climática.

Ventilación

El intercambio de propiedades oceánicas con la capa superficial atmosférica, de modo que las concentraciones de propiedades se acercan a los valores de equilibrio con la atmósfera (AMS, 2000), y los procesos que propagan estas propiedades al interior del océano.

Vías de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés)

Escenarios que incluyen series temporales de emisiones y concentraciones del conjunto completo de gases de efecto invernadero, aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo / cobertura del suelo. La palabra representante significa que cada RCP proporciona solo uno de los muchos escenarios posibles que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo. El término Vía enfatiza que no solo los niveles de concentración a largo plazo son de interés, sino también la trayectoria tomada en el tiempo para alcanzar ese resultado. Los RCP suelen referirse a la parte de la vía de concentración que se extiende hasta 2100, para la cual los Modelos de Evaluación Integrados produjeron los escenarios de emisión correspondientes. Las Vías de Concentración Extendida (PAE) describen extensiones de los RCP de 2100 a 2500 que se calcularon utilizando reglas simples generadas por las consultas de las partes interesadas, y no representan escenarios totalmente coherentes. Se seleccionaron cuatro RCP elaborados a partir de Modelos de Evaluación Integrada de la literatura publicada y se utilizan en la presente Evaluación del IPCC como base para las predicciones y proyecciones climáticas presentadas en los capítulos 11 a 14:

RCP2.6. Una vía donde el forzamiento radiativo alcanza un máximo de aproximadamente 3 W m^{-2} antes de 2100 y luego disminuye (el ECP correspondiente suponiendo/asumiendo emisiones constantes después de 2100).

RCP4.5 y RCP6.0. Dos vías de estabilización intermedia en las que el forzamiento radiativo se estabiliza a aproximadamente 4.5 W m^{-2} y 6.0 W m^{-2} después de 2100 (las PAE correspondientes suponen/asumen concentraciones constantes después de 2150).

RCP8.5. Una vía alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza más de 8.5 W m^{-2} para 2100 y continúa aumentando durante cierto tiempo (el ECP correspondiente supone/assume emisiones constantes después de 2100 y concentraciones constantes después de 2250).

Referencias

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014a. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working **(Intergovernmental Panel on Climate Change).** Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014b. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M.

Anexo 2

Matriz didáctica evaluación de vulnerabilidad

1 Matriz para evaluar el índice exposición (E)

Evaluación de Exposición a través de un análisis de riesgo

Para este ejercicio la **Exposición** se considera equivalente al Nivel de riesgo de perder o no alcanzar un objetivo deseado y **el Riesgo** = Probabilidad de ocurrencia de un evento (P) por La Magnitud estimada para el impacto (M), $R=P \times M$

Amenaza o forzante relacionado con el cambio climático		Probabilidad de ocurrencia de un evento en el futuro (P) *			Magnitud del impacto que podría generar el evento (M)			Índice de Riesgo o EXPOSICIÓN			
Forzante	Descripción de posibles impactos y cadena de efectos	(pasado) Ha ocurrido en el pasado	(futuro) Proyecciones para el futuro	P valor estimado	(Bio)** Biomasa actual o producción que se podría perder	(Mn) Gestión del recurso***	M Valor Estimado	Nivel de riesgo PXM	RIESGO Valor normalizado (PxM)/25	Evaluación	Nivel de confianza o certeza de la estimación
Ejempl. Aumento Temperatura	Se genera un estrés fisiológico para los peces, comen menos, aumenta la mortalidad	3	4	3,5	5	3	4	14	0,56	Riesgo frente al forzante 1	Media
Forzante 2										Riesgo frente al forzante 2	
Forzante 3										Riesgo frente al forzante 3	
Forzante 4										Riesgo frente al forzante 4	
Forzante 5										Riesgo frente al forzante 5	
										RIESGO INTEGRADO TOTAL PARA LA LOCALIDAD	

* = Dado que se usa una matriz de riesgo de 5x5, los puntajes para P se estiman así:	** Los puntajes para B reflejarían la biomasa que se puede perder y esto es relativo si se comparan diversos sitios que tienen diferentes producciones. Sin embargo, si el estudio se enfoca a un solo lugar se puede considerar que lo que pierde tiene un máximo valor porque es Único, por lo cual M=5
1= no ha ocurrido / altamente improbable	1= la pérdida de recurso en cuestión es casi nula
2= ha sido muy raro / poco probable	2= la pérdida es mínima
3= ha ocurrido con frecuencia baja / es probable	3= la pérdida es relevante
4= ha ocurrido con alta frecuencia / es muy probable	4= la pérdida es importante
5= ha ocurrido en forma permanente / alta certeza de ocurrencia	5= la pérdida es catastrófica
*** Los puntajes para la gestión del recurso fluctúan también entre 1 y 5	
1= un recurso muy cercano a su situación ideal (natural)	
2= el recurso tiene algún grado de estrés provocado por la gestión	
3= el recurso está estresado	
4= el recurso está muy estresado	
5= el recurso está en un grado máximo de estrés y muy lejos de la situación natural	

2 Matriz para estimar el índice Sensibilidad (S)

Indicadores para calcular el índice de Sensibilidad: cuán dependiente es la población de este recurso o actividad	Valor
Proporción población dependiente del recurso o actividad en la población total	0,1
Proporción empleo directo considerando empleo total	
Proporción de empleo indirecto (empleo en planta) en empleo total	
Proporción contribución de la actividad a los ingresos municipales en la zona	
Proporción contribución a la alimentación local	
Otros	
Índice de sensibilidad (S)	

3 Matriz para evaluar el índice Capacidad de Adaptación (CA)

Indicadores para calcular el Índice de Capacidad de Adaptación= reflejan atributos y características que hacen a una población mas o menos capaz de prepararse o reponerse frente a un impacto. Se trata de Ejemplos!!	Valores
Índice de escolaridad media de la población	
Porcentaje de hogares sin nivel de hacinamiento crítico o deficitario por comuna	
Índice de infraestructura y conectividad	
Existencia de oficina ONEMI en la comuna (existe=1/ no existe=0)	
Existencia de plan de emergencia comunal (existe=1/no existe=0)	
Existencia de un sistema de monitoreo ambiental local o que provea información local con participación local (rango de 0 = no existe a 1= existe y es excelente)	
% de la población superiores a 20 años afiliados al seguro de cesantía	
Índice de coordinación interinstitucional	
Índice de planificación espacial de la actividad basada en riesgo	
OTROS	
Índice capacidad de adaptación (CA)	

4 Matriz para evaluar Vulnerabilidad (Va)

Estimación de Vulnerabilidad (Va)				Vulnerabilidad estimada con la fórmula'
Localidad de estudio	Exposición (E)	Sensibilidad (S)	Capacidad de Adaptación	$Va = (1/3 * E) + (1/3 * S) + (1/3 * (1-CA))$
A (ejemplo)	0,4	0,5	0,2	0,57
B				
C				
etc				

La capacidad de adaptación de la pesca y la acuicultura será crucial para enfrentar los efectos del cambio climático. Por esta razón, es trascendente el fortalecimiento de las capacidades humanas asociadas a los sistemas de gestión pública de estas actividades. La FAO y la Universidad de Concepción han aunado esfuerzos para diseñar este Manual de Capacitación orientado a fortalecer las capacidades técnicas de funcionarios(as) públicos que, directa o indirectamente, gestionan la pesca y la acuicultura. Se abordan las principales características del sistema climático, los aspectos de gobernanza asociada al cambio climático, conceptos y componentes para la evaluación del riesgo y vulnerabilidad en pesca y acuicultura. Como parte esencial de aprendizaje, se entregan los enfoques y herramientas básicas para que los estudiantes elaboren un caso de estudio de vulnerabilidad en pesca o acuicultura. La evaluación de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático ofrece una oportunidad invaluable de reunir experiencias y enfoques que enriquecen las propuestas de soluciones a los casos de estudio planteados.

ISBN 978-92-5-134675-4



9 789251 346754

CB5556ES/1/09.21