

# “ESTADO DEL ARTE EN INDICADORES DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN DEL SECTOR AGRICULTURA”

Informe Final  
07 de diciembre 2021

Preparado para:



Preparado por:



Centro de Cambio Global UC  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Av. Vicuña Mackenna 4860 - Campus San Joaquín - Santiago - Chile  
Fono: 56-22- 354 79 11 - E-mail [cambioglobal@uc.cl](mailto:cambioglobal@uc.cl)  
[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

## **Equipo de trabajo**

Francisco Meza Dabancens – *Jefe de Proyecto y Experto Adaptación y Mitigación Cambio Climático sector Agricultura*

[fmeza@uc.cl](mailto:fmeza@uc.cl)

Eduardo Arellano – *Experto adaptación Soluciones Basadas en Naturaleza*

[eduardoarellano@uc.cl](mailto:eduardoarellano@uc.cl)

Catalina Marinkovic De la Cruz - *Profesional mitigación Cambio Climático Sector Agricultura*

[cbmarink@uc.cl](mailto:cbmarink@uc.cl)

Valentina Jara - *Profesional Adaptación al Cambio Climático Sector Agricultura*

[vtjara@uc.cl](mailto:vtjara@uc.cl)

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	7
2.	OBJETIVO GENERAL .....	9
3.	ADAPTACIÓN .....	10
3.1.	MARCO METODOLÓGICO SOBRE CAPACIDADES DE ADAPTACIÓN .....	10
3.2.	PROCESO DE TOMA DE DECISIONES EN LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	11
3.3.	INDICADORES PARA LA PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO POR MEDIO DE UN ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTI-CRITERIO .....	13
3.4.	MARCO GENERAL SOBRE LOS SISTEMAS DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE PROCESO DE ADAPTACIÓN 20	
3.5.	ESTUDIOS DE CASOS .....	31
3.6.	CONCLUSIONES .....	76
4.	MITIGACIÓN.....	79
4.1.	ANÁLISIS REGIONAL PARA LATINOAMÉRICA Y SECCA EN AGRICULTURA Y USO DE SUELOS.....	80
4.2.	REVISIÓN DE COMPROMISOS DE MITIGACIÓN EN AGRICULTURA EN NDC'S INTERNACIONALES. ....	86
4.3.	ANÁLISIS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA REDUCCIÓN GEI DEL SECTOR AGRICULTURA A NIVEL INTERNACIONAL .....	102
4.4.	ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS, INNOVADORAS O TENDENCIAS RELEVANTES DEL SECTOR- 110	
4.5.	RECOMENDACIONES SOBRE COMO PROMOVER UNA LISTA PRIORIZADA + DE TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS Y/O INNOVADORAS .....	123
4.6.	ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE DESARROLLO DE LAS ACCIONES DE INTERÉS PARA EL SECTOR AGRICULTURA.....	131
4.7.	ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE ACCIONES DE MITIGACIÓN ADICIONALES .....	145
4.8.	CONCLUSIONES ANÁLISIS DE MITIGACIÓN EN EL SECTOR AGRICULTURA .....	150
5.	REFERENCIAS .....	151
6.	ANEXOS .....	168
6.1.	ANEXO 1: SELECCIÓN DE MARCOS METODOLÓGICOS EXISTENTES PARA MONITOREAR ADAPTACIÓN 168	
6.2.	ANEXO 2: COMPARACIÓN DE LA COBERTURA DE LA "GUÍA METODOLÓGICA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS" .....	169
6.3.	ANEXO 3: DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE EMISIÓN PARA EL SECTOR AGRICULTURA.....	170

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Marco conceptual de riesgo y la relación entre sus componentes, los agentes climáticos y procesos socioeconómicos de acuerdo al quinto reporte (AR5) del IPCC (2014). Fuente (Field et al., 2014).....	10
Figura 2 El ciclo de aprendizaje de la adaptación. Fuente (PROVIA, 2013) .....	12
Figura 3 Alcance del análisis de priorización de medidas de adaptación Fuente: Elaborado a partir de (GIZ & SEMARNAT, 2015).....	13
Figura 4 Esquema conceptual para evaluar medidas de adaptación bajo enfoque multi-criterio..	16
Figura 5 Ejemplo de plantilla para cada una de las medidas Fuente (GIZ & SEMARNAT, 2015).....	19
Figura 6 Visualización de resultados. Fuente (GIZ & SEMARNAT, 2015).....	20
Figura 7 Distribución de emisiones del Sector Agricultura para Latinoamérica (FAO, 2020) .....	82
Figura 8 Distribución de emisiones del Sector Agricultura para la Región SEECA (FAO, 2018) .....	84
Figura 9 % de Participación de emisiones del Sector Agricultura del total Nacional de países analizados (Elaboración Propia).....	86
Figura 10 Imagen referencial sobre estructura organizacional del CER, institución que administra el ERF .....	105
Figura 11 Métodos jerárquico para la toma de decisiones con el AHP (Berumen & Redondo, 2007) .....	124
Figura 12 Ejemplo de "Comparación entre pares" entre 2 subcriterios.....	125
Figura 13 Metodologías de Evaluación de alternativas para alternativas de tecnologías disruptivas y/o innovadoras (Elaboración Propias) .....	125
Figura 14 Matriz de Jerarquía propuesto para la priorización de alternativas de tecnologías disruptivas y/o innovadoras en la agricultura .....	129
Figura 15 Distribución de los planteles según tipo de tratamiento ((DICTUC, 2019) .....	141
Figura 16 Panel de exploración de resultados para Modelo de emisiones GEI sector Agricultura (Elaboración propia) .....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes del riesgo e indicadores sugeridos para evaluar la priorización de una medida de adaptación. Fuente: elaboración propia. ....	14
Tabla 2. Criterios adicionales para evaluar la priorización de una medida de adaptación. Fuente: elaboración propia. ....	15
Tabla 3. Ejemplo que relaciona uno de los componentes para evaluar la resiliencia en los agroecosistemas con uno de los indicadores, la pregunta SHARP, la forma de medición, una respuesta de muestra y la escala para puntuar la respuesta. Fuente: adaptado de (Choptiany et al., 2017).....	24
Tabla 4. Ejemplo de indicadores de adaptación de cinco países europeos. Fuente: adaptado de (Mäkinen et al., 2018).....	25
Tabla 5. Ejemplo de indicadores bajo la categoría de "Recursos naturales y ecosistémicos", subcategorías e indicadores. Fuente: adaptado de (Ramasamy et al., 2017). ....	27
Tabla 6. Ejemplo de indicadores de adaptación divididos según el aspecto que el indicador trata de abordar (foco). Fuente: adaptado del repositorio de indicadores de Hammill et al (2014). ....	29
Tabla 7. Estudio de Caso Infraestructura gris (a nivel de cuenca) y recarga de acuíferos.....	33
Tabla 8 Estudio de Caso Tecnología de riego e infraestructura .....	44
Tabla 9. Estudio de Caso Soluciones Basadas en Naturaleza .....	62
Tabla 10. Síntesis de la relación de los estudios de caso analizados con las medidas establecidas en el PNACC SAP. Fuente: elaboración propia .....	75
Tabla 11 Clasificación de tipo de actividad de uso de la tierra y gestión agrícola (FAO, 2018). ....	80
Tabla 12 Principales medidas previstas para el sector Agricultura, Ganadería y Silvicultura al 2030 (Fuente: (Dirección Nacional de Cambio Climático, 2019)).....	87
Tabla 13 Medidas para el sector Agricultura en Canadá (Government of Canada, 2021) .....	89
Tabla 14 Medidas de mitigación establecidas en la NDC del Sector Agricultura para Colombia ....	91
Tabla 15 Medidas de mitigación analizadas para alcanzar su compromiso de reducción del Sector Agricultura para Nueva Zelanda.....	93
Tabla 16 Medidas de mitigación analizadas para alcanzar su compromiso de reducción del Sector Agricultura para Perú.....	94
Tabla 17 Medidas de mitigación para el Sector Agricultura de Uruguay (Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad, 2019).....	95

Tabla 18 Medidas de mitigación analizadas para alcanzar su compromiso de reducción del Sector Agricultura para Costa Rica.....	97
Tabla 19 Medidas de mitigación analizadas para alcanzar su compromiso de reducción del Sector Agricultura para Australia.....	99
Tabla . Ejemplos concretos de aspectos físicos de AgriTech clasificados por tipo de operación y área de aplicación. Fuente: Elaboración personal, ejemplo obtenidos de (Spanaki et al., 2021). .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla Ejemplos concretos de aspectos Cibernéticos de AgriTech clasificados por tipo de operación y área de aplicación. Fuente: Elaboración personal, ejemplo obtenidos de (Spanaki et al., 2021). .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla Ejemplos concretos de aspectos ciber-físicas de AgriTech clasificados por tipo de operación y área de aplicación. Fuente: Elaboración personal, ejemplo obtenidos de (Spanaki et al., 2021). .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla Escala de importancia de Saaty (Saaty, 1977) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla . Medidas de mitigación relacionadas al uso de fertilizantes en Chile. Fuente: elaboración propia. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla Estimación del potencial de mitigación y costo de abatimiento de reducciones de GEI en la implementación de biodigestores al 2050. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla Descripción de medidas de mitigación para el sector agricultura incorporadas en el modelo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla . Marcos, herramientas y métodos seleccionados para supervisar los procesos y resultados de la adaptación. Fuente: (Ramasamy et al., 2017) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla . Comparación de la cobertura de esta Guía con otras guías internacionales relacionadas a la Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El Acuerdo de París sobre el Cambio Climático se basa en la fundación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC). Cada NDC representa los planes nacionales y los compromisos que los países individuales han hecho para cumplir con el objetivo mundial de mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2º grados centígrados de los niveles preindustriales (ONU, 2015).

Un resultado clave de las negociaciones del Acuerdo de París adoptado en la Vigésima Primera Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue el establecimiento de un marco de transparencia mejorado para el seguimiento y la presentación de informes sobre el progreso de los compromisos actuales y futuro de los países. Específicamente, en el párrafo 84 de las decisiones de la COP21 se decidió establecer “una Iniciativa de Creación de Capacidades para la Transparencia (CBIT, por sus siglas en inglés) con el fin de crear capacidad institucional y técnica, tanto antes como después de 2020”<sup>1</sup>. La Iniciativa de CBIT “ayudará a las Partes que son países en desarrollo, previa solicitud, a cumplir con los requisitos de transparencia mejorada según se define en el artículo 13 del Acuerdo de manera oportuna” (ONU, 2015).

Para la iniciativa CBIT existe un fondo fiduciario que es administrado por El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM, o GEF por su sigla en inglés). Todas las Partes que son países en desarrollo o economías en transición tienen acceso a los fondos de la CBIT previa solicitud, y las políticas y procedimientos de FMAM se aplican a los proyectos respaldados por la CBIT.

Según lo establecido en el párrafo 85 de la decisión de la COP, el propósito de la iniciativa de CBIT es:

- a) Fortalecer las instituciones nacionales para las actividades relacionadas con la transparencia, de acuerdo con las prioridades nacionales.
- b) Ofrecer herramientas, formación y asistencia para el cumplimiento de las disposiciones del artículo 13 del Acuerdo.
- c) Ayudar a mejorar la transparencia en el tiempo.

En noviembre del 2018 comenzó a implementarse el CBIT en Chile, cuya meta es fortalecer los mecanismos de transparencia de las instituciones de Chile

---

<sup>1</sup> <https://es.cbitplatform.org/about>

para la presentación de informes nacionales ante la Convención Macro de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés). En el marco del proyecto CBIT, se espera que en un periodo de tres años se obtengan resultados como el fortalecimiento del Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) en Chile para acciones de adaptación y mitigación, e institucionalización del gasto público climático. Esto, con el fin de crear un estado de gobernanza de la NDC y la toma de decisiones basadas en evidencia. Actualmente, el CBIT ha representado un aporte en el país para la gestión del cambio climático, a través de la generación de productos que contribuyen al cumplimiento de los compromisos internacionales, el fortalecimiento de la coordinación y colaboración entre diversas entidades, y el intercambio y aprendizaje conjunto en América Latina y el Caribe. En este marco, CBIT Chile está preparando documentación para facilitar el desarrollo de capacidades y análisis de algunos sectores, para fortalecer el camino hacia la adaptación y mitigación del cambio climático.

Este estudio tiene como objetivo presentar el estado del arte de indicadores de adaptación al cambio climático en la agricultura para los procesos de toma de decisiones y apoyar la toma de decisiones sobre medidas de mitigación de GEI.



## 2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo del estudio es sintetizar información disponible sobre indicadores para apoyar la toma de decisiones del sector agrícola para la adaptación al cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI). Para ello, el trabajo será abordado en estas áreas:

### **Adaptación**

Se desarrollará un informe que profundice las evaluaciones de riesgo agrícola, a partir de las cadenas de impacto asociadas a la definición de riesgo climático del IPCC (2014) (Field et al., 2014) a nivel internacional. Se realizará una revisión de la construcción de los índices de sensibilidad, adaptabilidad y resiliencia. Las métricas e indicadores de adaptación al cambio climático estarán basados en el desarrollo de indicadores sub-nacionales, nacionales e internacionales. Se desarrollarán estudios de caso relevantes, con un nivel de información detallado que permita revisar los procesos de seguimiento y evaluación en el sector agrícola nacional.

### **Mitigación**

Se elaborará un informe que actúe como documento de apoyo a la toma de decisiones sobre las medidas de mitigación de gases efecto invernadero (GEI), incluidas en la NDCs de países de América, Europa y Asia dentro del sector agrícola, a partir de recopilación de información de fuentes nacionales e internacionales. Además, se analizará críticamente las medidas de mitigación de GEI dentro del sector agrícola especificadas en la NDC actualizada de Chile, proponiendo alternativas viables y factibles que puedan ser consideradas.

### 3. ADAPTACIÓN

#### 3.1. Marco metodológico sobre capacidades de adaptación

Los riesgos derivados del clima y el cambio climático surgen como consecuencia de la interacción de tres componentes: amenaza (peligro), exposición y vulnerabilidad (Field et al., 2014).

El marco conceptual, presentado en la **Error! Reference source not found.**, muestra la interacción que existe entre estos tres componentes. Está centrado en las definiciones y conceptos que utilizan las metodologías de evaluación de riesgo climático según la agencia GIZ (GIZ & EURAC, 2018), que a su vez se basan en el marco conceptual presentado por el quinto informe del IPCC (2014) (Field et al., 2014) para el entendimiento de las relaciones de riesgo climático y vulnerabilidad.

El IPCC en su informe establece las relaciones básicas existentes entre la adaptación al cambio climático, gestión y riesgos, como se muestra en la Figura 1.

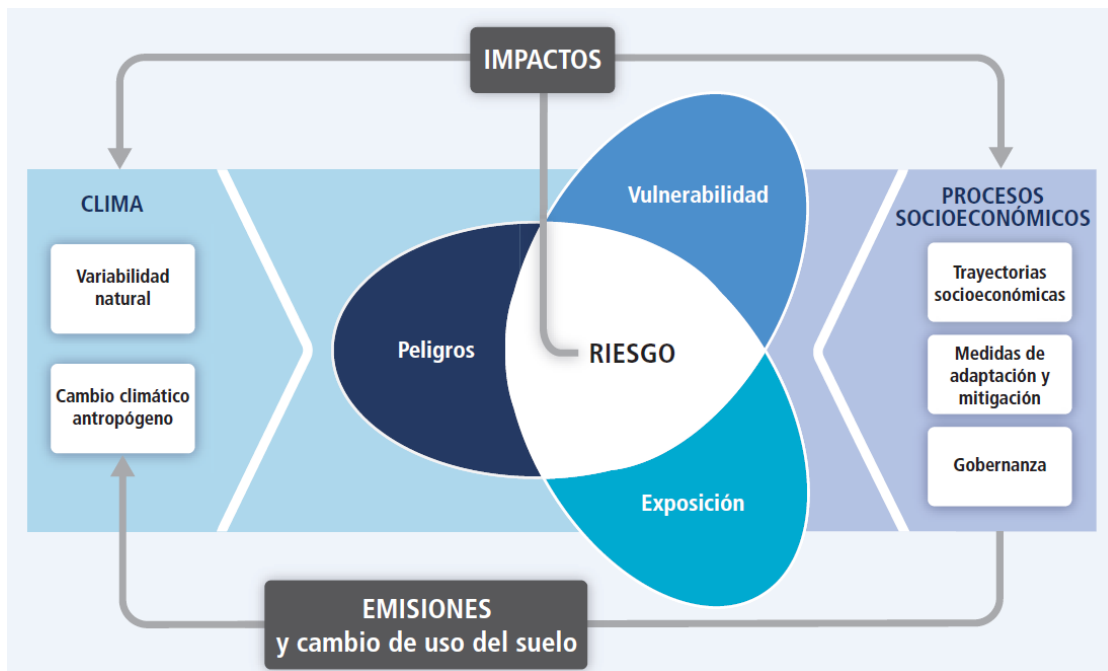


Figura 1 Marco conceptual de riesgo y la relación entre sus componentes, los agentes climáticos y procesos socioeconómicos de acuerdo al quinto reporte (AR5) del IPCC (2014). Fuente (Field et al., 2014)

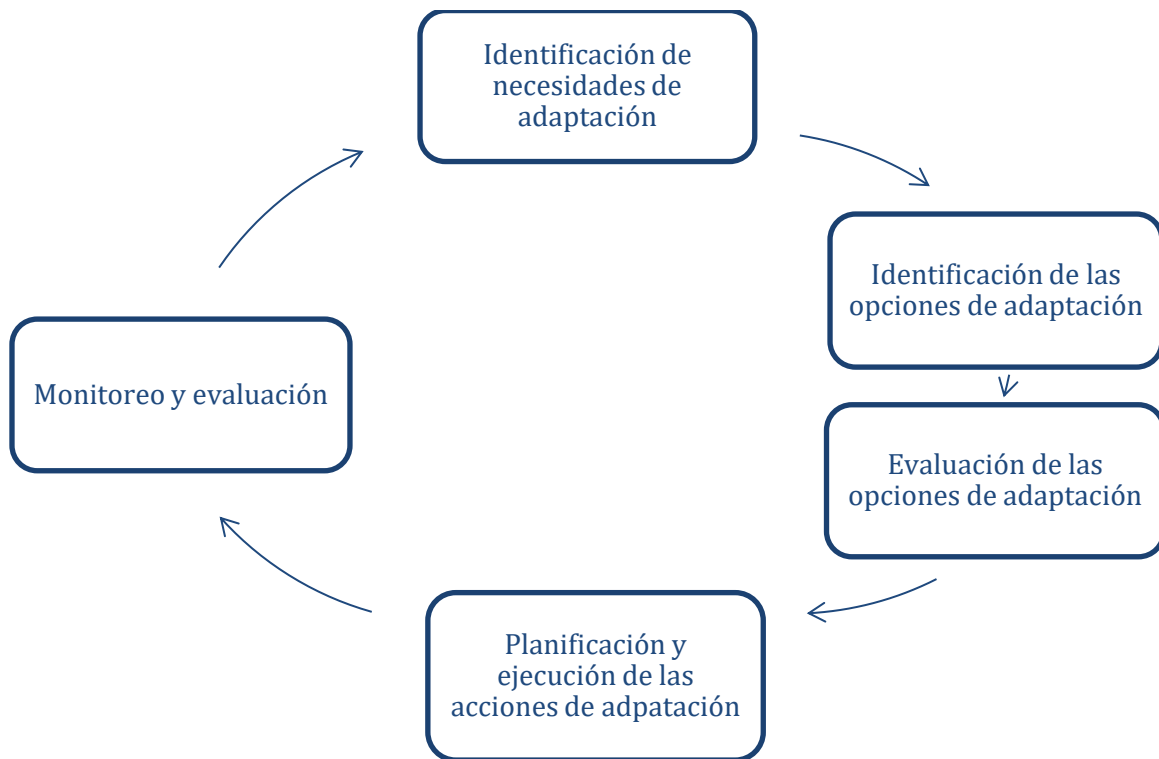
Dicho marco, establece que **el riesgo climático** es una interacción entre la

vulnerabilidad, la exposición y los peligros o amenazas (fenómenos meteorológicos y climáticos inherentes en un sistema). El riesgo es definido como *el potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores que puedan tener los sistemas bajo análisis*. Los impactos relacionados con el clima en los sistemas socio-ecológicos, resultan de la interacción de los componentes mencionados anteriormente (peligro, vulnerabilidad y exposición). El **Peligro** o la **Amenaza** se refiere a eventos o impactos físicos que puedan causar daños o pérdidas a los medios de subsistencia de un sistema socio-ecológico, la **Exposición** se entiende como los elementos relevantes de un sistema socio-ecológico que se podrían ver afectado por un peligro, y la **Vulnerabilidad** como la predisposición de un sistema a verse adversamente afectado. Es decir, para que realmente haya un impacto, debe existir un sistema amenazado por un peligro, y el impacto de dicho riesgo dependerá de que tan vulnerable sea ese sistema para hacer frente a dicho peligro o amenaza (Field et al., 2014).

De lo anterior, los procesos de **Adaptación** al cambio climático, se define como el proceso de ajuste al clima y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o aprovechar las oportunidades beneficiosas. Es decir, si logramos cambiar la vulnerabilidad de un sistema, podemos decir que se encuentra mejor adaptado. La vulnerabilidad está en función de la **Sensibilidad**, que corresponde al grado en el cual un sistema se puede ver afectado a un peligro o amenaza y la **Capacidad Adaptativa**, referida como “la capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar oportunidades o afrontar las consecuencias” (GIZ & EURAC, 2017; IPCC, 2018).

### **3.2. Proceso de toma de decisiones en la adaptación al cambio climático**

La adaptación se entiende como un ciclo continuo de aprendizaje y ajuste, que corresponde a un proceso iterativo que involucra distintas etapas, la cual inicia con la identificación de las necesidades de adaptación, con el fin de disminuir la vulnerabilidad y riesgo, para luego identificar las distintas opciones que llevarán a la adaptación y más tarde evaluarlas. Una vez identificadas y evaluadas, debe desarrollarse un proceso de planificación de las opciones de adaptación para facilitar su posterior ejecución. Finalmente, estas deben ser monitoreadas y evaluadas (PROVIA, 2013), tal como se propone en la Figura 2.



**Figura 2 El ciclo de aprendizaje de la adaptación. Fuente (PROVIA, 2013)**

Mediante la reflexión y el análisis de esta secuencia se facilita que los tomadores de decisiones visualicen en qué etapa de la adaptación se encuentran, y por ende que identifiquen las acciones que son necesarias de realizar (Bustos et al., 2016).

Para el proceso de toma de decisiones es importante la utilización de indicadores adecuados (Bustos et al., 2016). En este documento se propone el uso de indicadores que ayuden a la identificación y evaluación de las opciones de adaptación, por medio de un análisis multi-criterio (Sección 3.3), así también se propone un set de indicadores que ayuden a monitorear y evaluar el proceso de adaptación en tres casos específicos (Sección 3.5).

### 3.3. Indicadores para la priorización de medidas de adaptación al cambio climático por medio de un análisis de decisión multi-criterio

El análisis para la identificación y evaluación de medidas de adaptación está diseñado para acompañar y aplicarse durante el proceso de toma de decisiones, luego de que se hayan identificado las necesidades de adaptación. Asimismo, la priorización de medidas no busca resolver problemas ligados a la implementación, pero sí sienta las bases para que se pueda desarrollar de manera eficiente, y para que se pueda llevar a cabo el monitoreo y evaluación de los impactos de las políticas de adaptación al cambio climático (GIZ & SEMARNAT, 2015).

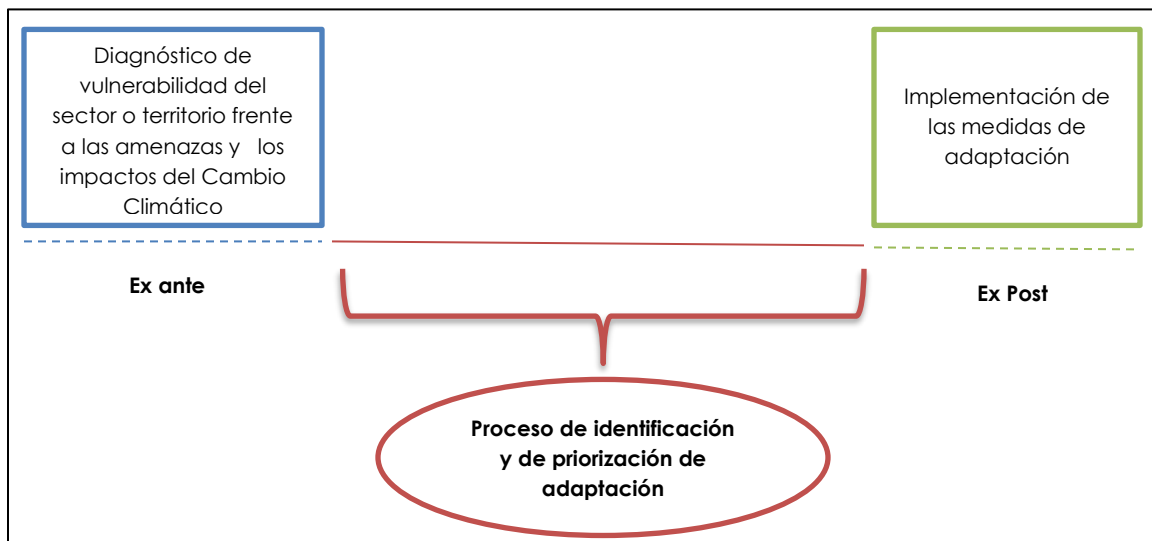


Figura 3 Alcance del análisis de priorización de medidas de adaptación Fuente: Elaborado a partir de (GIZ & SEMARNAT, 2015)

Para seleccionar las medidas de adaptación, en primer lugar, se deben identificar los criterios en los cuales se evaluarán dichas medidas. Los criterios permiten definir un marco orientador en el cual se toman las decisiones para la adaptación (GIZ & SEMARNAT, 2015).

En el marco de este proyecto se identificaron posibles indicadores a ser usados bajo un enfoque multi-criterio. La Tabla 1 presenta una lista de indicadores divididos según los componentes del riesgo, vale decir: Exposición, Amenaza, Sensibilidad, Capacidad Adaptativa y Vulnerabilidad. Cada componente representa un criterio diferente por el cual se debe evaluar la medida de adaptación, y los indicadores propuestos en cada grupo consideran las

condiciones que deberían ser analizadas en una medida de adaptación.

Adicionalmente en la Tabla 2 se presentan otros criterios de evaluación de medidas de adaptación, los cuales fueron desarrollados en función de los grandes objetivos de la adaptación y se componen de elementos económicos, tecnológicos, institucionales, sociales, y medio ambientales.

**Tabla 1. Componentes del riesgo e indicadores sugeridos para evaluar la priorización de una medida de adaptación. Fuente: elaboración propia.**

<b>Componente</b>	<b>Indicador</b>
Exposición	Superficie agrícola que abarcará la medida en el año X
	Tipo de cultivo y sistema de riego en el año X
	Población afectada en el año X
Amenaza	Cambios medios de clima en un año X
	Aumento de variabilidad climática respecto a un año X
	Sequía en un año X
	Olas de Calor en un año X
	Heladas en un año X
	Inundaciones en un año X
Sensibilidad	Cobertura de suelo donde se implementa la medida
	* Capacidad del suelo para resistir erosión
Capacidad Adaptativa	¿Potencia la capacidad de los sistemas para responder a los impactos esperados? (*)
	¿Contribuye a generar resiliencia? (*) * Habilidad para hacer frente a los factores estresantes y reorganizarse para mantener las estructuras y funciones, y/o promover la capacidad de transformar sistemas
Vulnerabilidad	Pérdidas totales de producción (Kg producto cosechable por hectárea año) (*)
	* El impacto debe ser valorado económica, social y ambientalmente

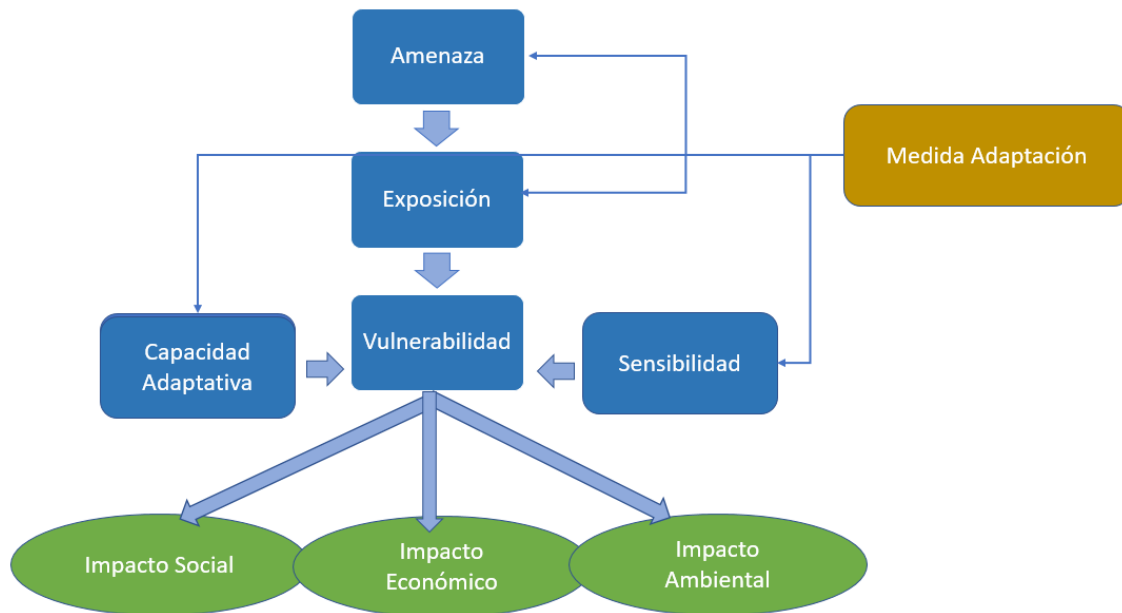
	Disminución de producción respecto a un año X (Kg producto cosechable por hectárea año)
	Deterioro de calidad respecto a un año X
	Disminución de empleo respecto a un año X

**Tabla 2. Criterios adicionales para evaluar la priorización de una medida de adaptación. Fuente: elaboración propia.**

<b>Criterio</b>	<b>Tipo</b>
Económico	Relación Costo/Beneficio * Para Adaptación Autónoma
	Evaluación de Proyecto * Para Adaptación Asistida
	Potencial de Reducción de Vulnerabilidad Social y/o Desigualdad
	Potencial de Impacto En Empleo/Productividad
Tecnológico	¿Están las opciones Disponibles en el Corto Plazo?
	¿Se dispone de información meteorológica precisa para la zona?
Institucional	¿Es viable políticamente?
	¿Es viable legalmente?
	¿Son las Instituciones capaces de Implementarlo?
Social	¿Hay co-beneficios en salud/educación?
	¿Promueve la inclusividad?
	¿Promueve un enfoque de género?
	¿Genera una equidad intergeneracional?
	¿Afecta negativamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)?

Medio Ambiente	¿Potencia servicios ecosistémicos?
	¿Degrada Recursos Naturales?
	¿Genera Impactos en Biodiversidad?
	¿Promueve un mayor acceso al recurso hídrico?
	¿Se prevén consecuencias imprevistas? (riesgo de prácticas de mal adaptación)

La Figura 4 muestra el esquema conceptual propuesto para evaluar medidas de adaptación bajo un enfoque multi-criterio:



**Figura 4** Esquema conceptual para evaluar medidas de adaptación bajo enfoque multi-criterio.

Para evaluar medidas de adaptación bajo un enfoque de decisión multi-criterio utilizando el concepto de cadena de impacto y los indicadores identificados, se propone modificar ligeramente el concepto de cadena de impacto, para que, en vez de generar una identificación del riesgo, se pueda evaluar el impacto del cambio climático (Amenaza) sobre un sistema agrícola que tiene un determinado nivel de exposición y vulnerabilidad. A su vez una medida de adaptación puede modificar directamente los componentes de esta cadena. Aunque es menos probable que una medida incida directamente sobre una amenaza (como se



lograría por ejemplo con sistemas de protección de heladas), se ha dejado explícito el vínculo para darle mayor flexibilidad y que esté completo.

Un sistema entonces generará impactos en tres dimensiones: Social, Económica y Ambiental. El peso relativo de cada una de ellas será motivo de mayor análisis y de establecimiento de consenso entre los expertos y agentes tomadores de decisiones. De esta forma sobre un vector de medidas de adaptación A, cuyos elementos son  $a_j$  (cada una de las medidas o combinación de ellas), el problema de selección de alternativas de adaptación corresponde a un problema de optimización que debiese ser formulado como :

$$\min_j [w_S I_S[a_j] + w_E I_E[a_j] + w_M I_M[a_j]]$$

En que: S, E, M corresponden a las dimensiones Social, Económica y Ambiental, respectivamente.  $I(a_j)$  es una función que transforma el impacto en cada dimensión a una escala común de 0 a 1 (donde 0 corresponde al mínimo nulo y 1 corresponde al mayor valor de la secuencia de alternativas). Se debe cumplir que los pesos relativos  $w$  se encuentren acotados entre 0 y 1 y que su suma corresponda al valor unitario.

Las funciones  $I(a_j)$  deberán ser desarrolladas en función de los distintos atributos, en algunos casos la información o modelos disponibles permiten un análisis cuantitativo, ej. pérdida de rendimiento, impacto en empleo, etc., mientras que en otras deberá recurrirse a la información de literatura o a juicio de experto.

De forma complementaria para realizar la priorización de medidas se propone el uso de los indicadores complementarios identificados (Tabla 2). Para su uso se entregarán lineamientos que permitirán generar el análisis de decisión usando los criterios e indicadores propuestos.

Según lo propuesto en el documento Metodología para la Priorización de Medidas de Adaptación frente al Cambio Climático (GIZ & SEMARNAT, 2015), los pasos a seguir luego de establecidos los criterios son:

- “Definir cuál es el peso relativo de un criterio con base en otro, es decir si todos deben tener la misma importancia o hay algunos más importantes que otros” (GIZ & SEMARNAT, 2015).
- “Especificar para cada criterio los rangos de clasificación, es decir, ¿Bajo qué condiciones se entiende que una medida cumple completamente

con ese criterio? (lo cual sería la calificación más alta) y ¿Bajo qué condiciones la medida no cumple con ese criterio? (la calificación más baja)" (GIZ & SEMARNAT, 2015).

Además, se enfatiza que es relevante realizar un proceso participativo con expertos de cada uno de los sectores y/o regiones donde se esté aplicando el proceso, para que de esta forma exista una correcta validación de los criterios, una determinación de la importancia de un criterio respecto a los otros, y para definir los rangos de clasificación de cada uno de los criterios bajo los cuales serán evaluadas las medidas (GIZ & SEMARNAT, 2015).

Antes de que las medidas sean sometidas al proceso de priorización, es necesario identificar cada una de ellas. Puede que se trate de (1) medidas previamente seleccionadas (por ejemplo, en un plan o programa de adaptación al cambio climático), o (2) medidas que ya han sido previamente diseñadas pero que no forman parte de un programa de adaptación, así como también (3) existe la opción de que se deben diseñar nuevas medidas especificar para un sector o región las cuales deben pasar por un proceso de priorización o evaluación y conocer cual medida aumenta más la vulnerabilidad del sistema (GIZ & SEMARNAT, 2015).

Finalmente, para aplicar el análisis multi-criterio a las medidas identificadas se requiere ponderar los criterios y sus rangos de clasificación. La Figura 5 muestra un ejemplo de una plantilla de análisis multi-criterio utilizada en el documento Metodología para la Priorización de Medidas de Adaptación frente al Cambio Climático (GIZ & SEMARNAT, 2015).

M2		Conector biológico				
	NOMBRE DE LA VARIABLE	PESO ASIGNADO	DESCRIPCIÓN	RELEVANCIA ASIGNADA	NOTA X CRITERIO	VALOR PONDERADO
					Suma	4.5
C1	Transversalidad	5	No hay transversalidad (0) Es transversal con 1 o 2 políticas, programas y/o proyectos (1-5) Es transversal con más de 2 políticas (6-10)	MEDIA	9	4.5
C2	Coordinación de actores y sectores	7	No existe coordinación (0) Se coordina con 1 sector y/o institución (1-5) Se coordina con más de 2 sectores y/o instituciones (6-10)	ALTA		0
C3	Factibilidad	9	necesarias para su desarrollo (0) La medida considera medianamente las capacidades	ALTA		0
C4	Flexibilidad & no regrets	10	(0) Flexibilidad baja o ausente y beneficios altos (1-3) Flexibilidad alta y beneficios bajos	ALTA		0
C5	Conservación de Ecosistemas	8	(0) Nivel medio de conservación y contribución a la resiliencia (1-5) Nivel alta de conservación y contribución a la resiliencia (6-10)	ALTA		0
C6	Aprovechamiento Sustentable	6	(0) La medida promueve o desarrolla parcialmente el uso sostenible de los recursos	MEDIA		0
C7	Atención a la población en condiciones de vulnerabilidad social	7	(0) La medida está medianamente focalizada en la atención a las poblaciones vulnerables	ALTA		0
C8	Participación Activa	5	(0) Solo los beneficiarios o solo la población involucran en ninguna fase del proceso	MEDIA		0
C9	Fortalecimiento de capacidades para la adaptación	3	(0) La medida promueve medianamente las capacidades (1-5) La medida promueve fuertemente las capacidades (6-10)	BAJA		0
C10	Evaluación y retroalimentación	10	(0) No tiene mecanismos de monitoreo, pero se pueden desarrollar (1-5) Tiene mecanismos de monitoreo y retroalimentación (6-10)	ALTA		0

Nombre de la medida

Estos son los criterios

Estos son los rangos de calificación definidos para cada criterio

Aquí se establece la calificación de la medida de acuerdo a cada uno de los criterios seleccionados

Este es el peso relativo de un criterio frente a los otros

Figura 5 Ejemplo de plantilla para cada una de las medidas Fuente (GIZ & SEMARNAT, 2015).

Usando el valor ponderado resultante de la priorización de cada medida analizada se puede conocer finalmente que medida es la que genera mayor impacto en la reducción de la vulnerabilidad. Un ejemplo puede ser visto en la Figura 6.

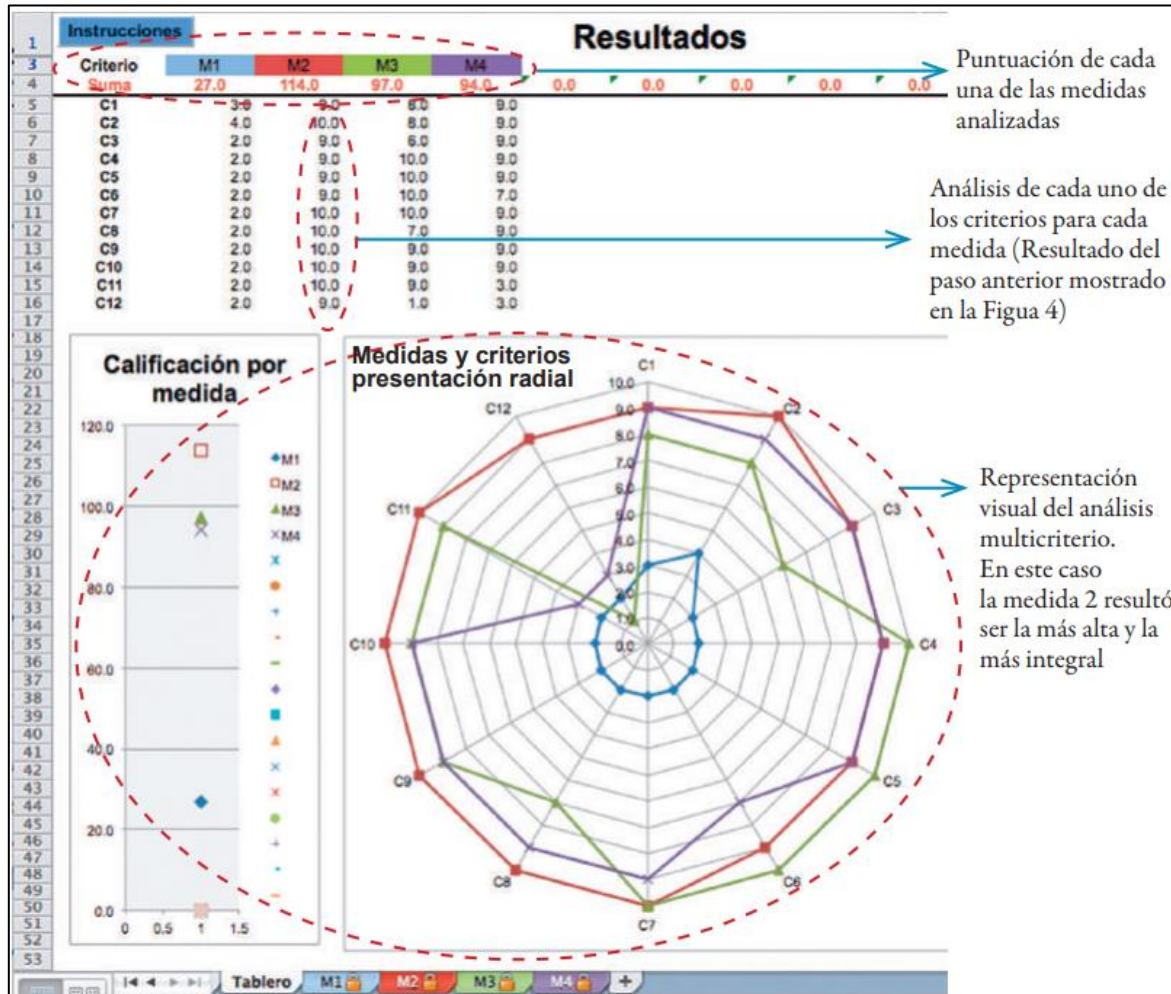


Figura 6 Visualización de resultados. Fuente (GIZ & SEMARNAT, 2015).

### 3.4. Marco general sobre los sistemas de monitoreo y evaluación de proceso de adaptación

Dada la definición del primer objetivo mundial de adaptación acordado en el Acuerdo de París en el 2015, surge la urgencia de abordar la medición y monitoreo de la adaptación en diferentes niveles a lo largo del tiempo. Con el fin de abordar estas necesidades, se han debatido distintos enfoques para identificar sistemas de monitoreo de adaptación estándar, pero pese a ello, existen pocas ideas concretas para obtener sistemas de medición que puedan comparar y agregar su aplicación de forma práctica (Christiansen et al., 2018).

El estancamiento en el progreso de un sistema de monitoreo y evaluación de la adaptación se relaciona directamente al hecho de que los impactos del clima se manifiestan de forma diferente en función de la ubicación, el periodo y la escala, y sobre ellos influyen diversos factores sociales, económicos y ambientales. Esto mismo ocurre sobre la capacidad de los sistemas naturales y humanos de reaccionar ante tales impactos. Dado esto es que las medidas de adaptación son generalmente implementadas según un contexto específico de cada país o región. Lo que se considera como una adaptación eficaz difiere según las circunstancias, por lo tanto, el uso y valor de los sistemas de medición varían en gran medida según el contexto específico de aplicación (Christiansen et al., 2018; Ramasamy et al., 2017).

Dado que no existe un sistema de medición claro e integral como el que se utiliza en el contexto de mitigación (CO<sub>2</sub> equivalente), sumado a la falta de acuerdos generalizados sobre un sistema de uso general, se han propuesto una gran variedad de marcos para el monitoreo y evaluación de la adaptación. De esta forma, varios donantes y agencias de desarrollo han creado sus propios marcos con sistemas de medición de la adaptación o han agregado indicadores estandarizados en su práctica de monitoreo y evaluación (Christiansen et al., 2018).

En el documento "Tracking adaptation in agricultural sectors" Ramasamy et al. (2017) muestra un listado con una gran variedad de marcos metodológicos existentes usados para el monitoreo de adaptación. Además, detalla la escala de aplicación, el objetivo de seguimiento del marco metodológico, así como el sector y usuarios potenciales (Anexo 1: Selección de marcos metodológicos existentes para monitorear adaptación). Esto deja en evidencia el bajo consenso que existe para monitorear y evaluar adaptación.

Para conocer cómo se evalúa la adaptación en la agricultura, se realizó una revisión bibliográfica con enfoque en documentos que mostraran el uso de indicadores para lograr una evaluación y monitoreo de las medidas adoptadas para avanzar en el proceso de adaptación nacional.

El uso de indicadores para evaluar y monitorear el proceso de adaptación varía según el marco metodológico que utilice el país que reporta adaptación, y también según las definiciones consideradas para los componentes de exposición, amenaza, vulnerabilidad, sensibilidad y capacidad adaptativa.

Para entender esto de mejor forma, se presentan cuatro fuentes de indicadores y se describen los distintos enfoques tomados por cada fuente consultada para la

construcción de indicadores de adaptación en el sector agrícola:

El primer caso fue el instrumento (aplicación) desarrollado por la FAO llamado **Self-evaluation and Holistic Assessment of climate Resilience of farmers and Pastoralists (SHARP)**<sup>2</sup>. Este instrumento se basa en la realización de una encuesta participativa para que pequeños agricultores y pastores autoevalúen y comparen su resiliencia climática. Puede ser usada por los mismos agricultores, por profesionales del desarrollo rural y por investigadores. La aplicación genera automáticamente un reporte final que contiene un análisis preliminar sobre los datos recolectados, otorgando la posibilidad de comparar en tiempo real el puntaje obtenido. Esto permite remarcar las fortalezas y debilidades de los componentes de los sistemas agrícolas y pastorales en términos de cambio climático, generando una discusión en terreno (Choptiany et al., 2017).

El cuestionario de autoevaluación de SHARP se basa en indicadores de resiliencia que son relevantes para el caso de los pequeños agricultores y pastores, en este contexto SHARP centra la atención en la resiliencia climática de dichos sistemas agrícolas, y la resiliencia se considera tanto un resultado como una capacidad inherente de adaptación (Choptiany et al., 2017). De esta forma este instrumento tiene un alcance a nivel local o predial.

Para medir la resiliencia del agroecosistema, SHARP utiliza el marco metodológico desarrollado por Cabell & Oelofse (2012), donde se propone el uso de 13 componentes de resiliencia basados en el comportamiento del agroecosistema. Estos pueden utilizarse para identificar comportamientos que reflejan una alta resiliencia cuando están presentes, o una baja resiliencia cuando están ausentes. Dichos componentes son (Choptiany et al., 2017):

- 1) Auto-organización social. Los agricultores y los consumidores son capaces de organizarse en redes e instituciones de base, como cooperativas, mercados agrícolas, asociaciones comunitarias de sostenibilidad, huertos comunitarios y redes de asesoramiento
- 2) Ecológicamente autorregulado. Las explotaciones mantienen la cubierta vegetal e incorporan más plantas perennes, proporcionan hábitat a los depredadores y parasitoides, utilizan ingenieros ecosistémicos y alinean la producción con los parámetros ecológicos locales
- 3) Conectarse adecuadamente. Colaboración con múltiples proveedores, puntos de venta y compañeros de trabajo; cultivos plantados en

---

<sup>2</sup> <https://www.fao.org/in-action/sharp/sharp-application/en/>

policultivos que favorecen la simbiosis y el mutualismo.

- 4) Diversidad funcional y de respuestas. Heterogeneidad de características dentro del paisaje y en la explotación; diversidad de insumos, productos, fuentes de ingresos, mercados, control de plagas, etc.
- 5) Una redundancia óptima. Plantar múltiples variedades de cultivos en lugar de uno, disponer de equipos para varios cultivos, obtener nutrientes de múltiples fuentes, captar agua de múltiples fuentes.
- 6) Heterogeneidad espacial y temporal. Parcelación de tierras dentro de la explotación y el paisaje, patrón de mosaico de tierras gestionadas y no gestionadas, diversas prácticas de cultivo, rotaciones de cultivos.
- 7) Expuesto a las perturbaciones. Gestión de plagas que posibilita una gestión controlada de plagas invasoras, seguida de la selección de plantas que se adaptan bien al ambiente y muestran signos de resistencia.
- 8) Se combina con el capital natural local. Aumenta (no agota) la materia orgánica del suelo, recarga el agua, poca necesidad de introducir nutrientes o exportar residuos
- 9) Aprendizaje reflexivo y compartido. Servicios de extensión y asesoramiento para los agricultores; colaboración entre las universidades, centros de investigación y de agricultores; cooperación e intercambio de conocimientos entre los agricultores; establecimiento de registros; conocimiento de referencia sobre el estado del agroecosistema.
- 10) Autonomía global e interdependencia local. Menor dependencia de grandes mercados y reducción de los insumos externos; más ventas a mercados locales, dependencia de recursos locales; existencia de cooperativas de agricultores, relaciones estrechas entre el productor y el consumidor, y recursos compartidos como la maquinaria.
- 11) Legado de herencias. Mantenimiento de las semillas heredadas y compromiso de los ancianos, incorporación de las técnicas de cultivo tradicionales con los conocimientos modernos
- 12) Construye el capital humano. Inversión en infraestructura e instituciones para la educación de niños y adultos, apoyo a eventos sociales en comunidades agrícolas, programas para la preservación del conocimiento local.
- 13) Razonablemente rentable. Los agricultores y los trabajadores agrícolas ganan un salario digno; el sector agrícola no depende de subvenciones distorsionadoras

Para la evaluación SHARP, por cada componente de resiliencia a medir se genera un grupo de indicadores específicos, donde cada indicador va acompañado de

una pregunta y, por tanto, de una forma de medir la respuesta. Finalmente se presenta una escala para puntuar las respuestas (Choptiany et al., 2017). Un ejemplo de esto se puede visualizar en la Tabla 3.

**Tabla 3. Ejemplo que relaciona uno de los componentes para evaluar la resiliencia en los agroecosistemas con uno de los indicadores, la pregunta SHARP, la forma de medición, una respuesta de muestra y la escala para puntuar la respuesta. Fuente: adaptado de (Choptiany et al., 2017).**

Componente de resiliencia (de Cabell y Oelofse, 2012)	Indicadores SHARP	Preguntas SHARP	Forma de medición	Respuesta/Unidad	Escala (más alto es más resistente/mejor)
1- Auto-organización social. Los agricultores y los consumidores son capaces de organizarse en redes e instituciones de base, como cooperativas, mercados agrícolas, asociaciones comunitarias de sostenibilidad, huertos comunitarios y redes de asesoramiento	1.1 Pertenencia a un grupo	¿Es usted miembro de algún grupo, organización o asociación? + para cada uno dar: Grado de participación (Líder, Muy activo, Bastante activo, No activo)	# N° de grupos que tienen un nivel de participación al menos "bastante activo"	# N° de opciones marcadas en la tabla	0= 0, 1= 7, 2+= 10

\* El componente de resiliencia "1- Auto-organización social" se relaciona a otros cuatro indicadores: Funciones de los grupos, Acceso a los mercados agrícolas locales, Acciones colectivas anteriores, Acceso a los recursos comunitarios, donde cada uno se define por cada componente de la tabla.

En segundo lugar, se analizó un repositorio de indicadores de la Unión Europea entregados en el marco del proyecto "**Indicators for adaptation to climate change at national level - Lessons from emerging practice in Europe**" (Mäkinen et al., 2018). El artículo presenta una revisión de indicadores de adaptación a escala nacional de cinco países europeos: Austria, Finlandia, Alemania, Inglaterra y Escocia. Estos hasta el 2018 representan los únicos países de Europa que cuentan con un conjunto de indicadores de adaptación acordados y disponible para el público (Mäkinen et al., 2018).



Es importante mencionar que los indicadores presentados como parte de este informe no deben percibirse como un intento de establecer un conjunto común de indicadores de adaptación sobre el que se pueda esperar que los países informen en el futuro. El repositorio de indicadores debe considerarse como una fuente de información dinámica de indicadores de adaptación que están actualmente en uso en los distintos países europeos, los cuales se irán actualizando en el futuro a medida que se disponga de nueva información. Puede servir como fuente de información e inspiración para los países que actualmente están que están desarrollando o revisando sus indicadores de adaptación como parte de sus sistemas de monitoreo y evaluación para la adaptación al cambio climático, pero no como un conjunto ideal o exhaustivo de indicadores (Mäkinen et al., 2018).

Los cinco países europeos clasifican los indicadores de dos formas: Tipo 1: Indicador de función; y Tipo 2: indicador de contenido. El primer tipo, subdivide los indicadores en; indicador de entrada, de proceso, de salida y de resultado. Los indicadores Tipo 2, se subdividen en: indicadores de exposición, de capacidad adaptativa, de sensibilidad, de vulnerabilidad compuesto. Cada indicador presentado en el repositorio esta categorizado según ambos tipos (Mäkinen et al., 2018). En la Tabla 4 se puede ver un ejemplo por cada país de indicadores utilizados para medir adaptación en el sector agrícola.

**Tabla 4. Ejemplo de indicadores de adaptación de cinco países europeos. Fuente: adaptado de (Mäkinen et al., 2018)**

<b>País</b>	<b>Sector</b>	<b>Título del Indicador</b>	<b>Indicador Tipo 1</b>	<b>Indicador Tipo 2</b>	<b>Unidad de Medida</b>
Inglaterra	Agricultura	Gasto en investigación y desarrollo en la agricultura	Indicador de entrada	Indicador de capacidad de adaptación	Millones de libras esterlinas
Alemania	Agricultura	Adaptación de los ritmos de gestión (Muestra la tendencia de los cambios en los ritmos de gestión - cultivo de maíz-)	Indicador de proceso	Indicador compuesto de vulnerabilidad	Fecha media de inicio del cultivo de maíz

Austria	Agricultura	Medidas agro-ambientales	Indicador de salida	Indicador compuesto de vulnerabilidad	Superficie de tierra agrícola (ha) cubierta por medidas agro-ambientales relevantes para el clima
Escocia	Agricultura	Riesgo de sequía para las tierras agrícolas	Indicador de resultado	Indicador de exposición	%
Finlandia	Agricultura	Inicio, fin y duración de la temporada de cultivo	No aplica	Indicador de Sensibilidad	Duración en días, fechas de inicio y fin
Alemania	Agricultura	Daños causados por granizos en la agricultura	Indicador de resultado	Indicador de Amenaza	Daños medios de las tormentas de granizo en la agricultura; gasto medio en siniestros (para el seguro contra el granizo); [€]

Así también, se analizó el documento de la FAO nombrado **“Tracking adaptation in agricultural sectors”** (Ramamamy et al., 2017). En este documento se desarrollaron herramientas y métodos para seguir el progreso de la adaptación al cambio climático a nivel nacional, y una guía para ayudar a los países a aplicar estas herramientas y métodos en función de sus necesidades y contextos. Dado que la aplicación de este marco es contexto específico de cada país, no se recomienda su uso para comparar el progreso en adaptación del sector agrícola entre diferentes naciones.

Con el fin de promover un desarrollo inclusivo, sostenible y resiliente al cambio climático, el marco de seguimiento desarrollado por la FAO incluye indicadores que se dividen según su relación con: los recursos naturales y ecosistémicos; los sistemas de producción agrícola; las variables sociales y económicas, y las instituciones y formulación de políticas (Ramamamy et al., 2017). En la Tabla 5 se puede apreciar un ejemplo de cómo son presentados los indicadores en el documento de Ramamamy et al. (2017). Se dividen por categoría, sub-categoría, indicadores pertenecientes a la sub-categoría, se menciona la unidad de medida, la fuente donde se puede encontrar dicha información, si pertenece a un indicador de proceso o de resultado, en que subsector agrícola puede ser usado

dicho indicador y, por último, si el indicador puede ser dividido por género.

**Tabla 5. Ejemplo de indicadores bajo la categoría de "Recursos naturales y ecosistémicos", subcategorías e indicadores. Fuente: adaptado de (Ramamamy et al., 2017).**

Categoría	Sub-categoría	Indicador *	Unidad	Fuente	Resultado /proceso	Subsectores agrícolas**					Género desagregado
						C	L	FI	AQ	FO	
Recursos naturales y ecosistémicos	1. Disponibilidad y acceso a recursos hídricos de calidad para los sectores agrícolas	Existencia de un mecanismo de funcionamiento a nivel local para acceder a recursos hídricos adecuados para la agricultura durante la escasez/sequía	Cualitativo	Nueva Fuente	Proceso	X	X	X	X	X	n/a
	2. Disponibilidad y acceso a tierras agrícolas y a bosques de calidad	Tierras cultivables y forestales per cápita por población agrícola	ha	UNCCD/SDGs	Resultado	X	X			X	n/a
	3. Estado de los ecosistemas y su funcionalidad	Superficie forestal como proporción de la superficie total de tierra	%	FAO/SDGs	Resultado					X	n/a
	4. Estado de la diversidad de los recursos genéticos en agricultura	Proporción de las cinco principales variedades de cultivo en la producción total de cultivos	%	OECD	Resultado	X					n/a

\* Existen como mínimo tres indicadores por cada sub-categoría. Como forma de ejemplificación en este caso solo se muestra un indicador por sub-categoría

\*\* C = Cultivos; L = Ganadería; FI = Pesca; AQ = Acuicultura; FO = Silvicultura

El marco de seguimiento de la adaptación en el sector agrícola elaborado por la FAO, fue usado e incluido en el Plan Nacional de Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático para el Sector Agropecuario de Uruguay (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, 2019), donde se entrega una matriz con 32

indicadores que cubren las cuatro dimensiones antes mencionadas.

Finalmente, se consideró el informe elaborado por la GIZ en cooperación con IISD llamado **“Repository of Adaptation Indicators: Real case examples from national Monitoring and Evaluation Systems”** (Hammill et al., 2014). El objetivo del repositorio es ofrecer a los usuarios algunos ejemplos ilustrativos de indicadores de adaptación que podrían aplicarse en su propio contexto nacional de monitoreo y evaluación de la adaptación. El repositorio no pretende ser un instrumento prescriptivo ni tampoco intenta proporcionar una base para estandarizar métricas de adaptación, más bien, intenta ser una guía o un punto de referencia para los profesionales que están involucrados en la formulación de indicadores de adaptación y sistemas de monitoreo y evaluación que sirvan para su propio contexto específico nacional y de toma de decisiones (Hammill et al., 2014).

Por cada indicador entregado en el repositorio, se indica una referencia donde el indicador fue utilizado, de esta forma se conoce también la escala más relevante de aplicación de dicho indicador. En el repositorio se entregan indicadores que pueden ser usado a escala nacional, sub-nacional y local. Por otro lado, los indicadores son divididos según el foco del indicador, esto quiere decir que se categorizan según el aspecto que el indicador este tratando de abordar. Son subdivididos en tres categorías: parámetros climáticos, impactos climáticos, acciones de adaptación y resultados de adaptación (Hammill et al., 2014).

El repositorio además entrega información sobre la unidad de medida de cada indicador, la relevancia que tiene para la adaptación, las potenciales limitaciones, se entrega un ejemplo específico del uso del indicador extraído de un sistema de M&E existente, lo que demuestra cómo puede ser usado en un determinado contexto. Se entrega la fuente de información desde donde se extrajo el ejemplo, se definen los datos que se necesitan para la construcción del indicador, desde que institución se puede recolectar la información requerida, la forma de calcular el indicador, la escala espacial de uso, y finalmente la forma en que el indicador puede ser desagregado para conocer diferencias en género, medios de vida, amenazas climáticas, etc (Hammill et al., 2014).

En la Tabla 6, se muestra a modo de ejemplo tres indicadores por categoría para el sector agrícola extraídos del “Repository of Adaptation Indicators: Real case examples from national Monitoring and Evaluation Systems” (Hammill et al., 2014).

Tabla 6. Ejemplo de indicadores de adaptación divididos según el aspecto que el indicador trata de abordar (foco). Fuente: adaptado del repositorio de indicadores de Hammill et al (2014).

Foco	Indicador	Unidad	Escala/ desagregación	Fuente del documento del que se extrae el ejemplo del indicador
Parámetro Climático	Cambio en la temperatura anual	Grados Celsius	Sub-nacional/ por región	Mekong River Commission: Lower Mekong basin-wide monitoring and reporting system on climate change and adaptation (draft, 2013)
Parámetro Climático	Precipitación mensual	mm/mes	Sub-nacional/ por región	Mekong River Commission: Lower Mekong basin-wide monitoring and reporting system on climate change and adaptation (draft, 2013)
Parámetro Climático	Eventos de precipitación extrema	Número	Sub-nacional/ por región	Mekong River Commission: Lower Mekong basin-wide monitoring and reporting system on climate change and adaptation (draft, 2013)
Impacto climático	Número de hogares afectados por la sequía	Número	Nacional y sub-nacional/ Por unidades sub-nacionales, por género, por medios de vida	Mekong River Commission: Lower Mekong basin-wide monitoring and reporting system on climate change and adaptation (draft, 2013)
Impacto climático	Pérdidas de PIB en porcentaje por año debido a las precipitaciones extremas	%	Nacional / Por sector	Adaptation M&E indicator system of Mexico
Impacto climático	Cambio de fases agro-fenológicas de las plantas cultivadas	Días	Nacional y sub-nacional/ Por diferentes zonas agroecológicas	Schönthaler, K. et al. (2011). Establishment of an Indicator Concept for the German Strategy on Adaptation to Climate Change. German Federal Environment Agency

Acciones de adaptación	Porcentaje de agricultores y pescadores con acceso a servicios financieros	%	Sub-nacional / Por medios de vida y/o por género	Kenya National Climate Change Action Plan, Subcomponent 6: Section B (Annex 6)
Acciones de adaptación	Suma total de las inversiones en programas de protección del ganado	Dinero	Regional / Por región	Morocco 2014 Draft Version. Guide to establish an M&E system of vulnerability and adaptation to climate change in the regions of Souss Massa Drâa and Marrakech Tensift Al Haouz
Acciones de adaptación	Porcentaje de tierras agrícolas con riego mejorado	%	Nacional y sub-nacional / Por unidad sub-nacional, por tipo de cultivo (cereales, hortalizas,...), por sistema de riego (borde, surco, goteo)	Mekong River Commission: Lower Mekong basin-wide monitoring and reporting system on climate change and adaptation (draft, 2013)
Acciones de resultado	Porcentaje de personas pobres en zonas propensas a la sequía con acceso a agua segura y disponible	%	Sub-nacional / por género	Kenya National Climate Change Action Plan, Subcomponent 6: Section B (Annex 6)
Acciones de resultado	Porcentaje de tierras agrícolas cubiertas por el seguro de cosechas	%	Nacional / por tipo de cultivo	French National Climate Change Impact Adaptation Plan 2011-2015. Annex II. Detailed action sheets
Acciones de resultado	Volumen de ventas generado por las cooperativas agrícolas	Número	Regional o provincia / Por región, género, agricultura convencional vs orgánica	Morocco 2014 Draft Version. Guide to establish an M&E system of vulnerability and adaptation to climate change in the regions of Souss Massa Drâa and Marrakech Tensift Al Haouz

Según las cuatro fuentes de indicadores analizadas, se puede concluir que existen diversos marcos conceptuales utilizados para categorizar dichos indicadores y

poder monitorear y evaluar adaptación. Dado esto, y considerando las definiciones de los componentes del riesgo del IPCC (Field et al., 2014) ), para efectos de este informe se crearon indicadores capaces de monitorear la vulnerabilidad del sistema por medio del aumento de la capacidad adaptativa o disminución de sensibilidad, de esta forma lograr la evaluación del riesgo por medio de la medición de la adaptación.

Como forma de completar la revisión bibliográfica internacional sobre el uso de indicadores de adaptación en el sector agrícola, se está trabajando en la construcción de una matriz de indicadores. Esta nace como fruto de la recopilación de múltiples fuentes de información con sus distintos enfoques en el uso de indicadores que permiten evaluar y monitorear adaptación<sup>3</sup>.

### **3.5. Estudios de casos**

Con el fin de analizar el seguimiento de la evaluación del progreso de adaptación a nivel nacional, sub-nacional y local, se definieron tres casos de estudio relevantes para Chile<sup>4</sup>. El trabajo se centra en casos representativos de: infraestructura gris (a escala de cuenca) y recarga de acuíferos; tecnologías de riego; y de soluciones basadas en la naturaleza,

Para cada caso estudiado se creó un set de indicadores que pretende ilustrar posibles indicadores de adaptación y su contexto de aplicación, ayudando de esta forma a la formulación, selección y el uso de indicadores específicos. Mediante su utilización se pretende determinar si el proceso de adaptación está avanzando, de esta forma determinar si la estrategia de adaptación o inversión está cumpliendo sus objetivos (Christiansen et al., 2018)

En específico, los indicadores propuestos tienen relación con el componente de vulnerabilidad, de esta forma mediante el uso de los indicadores en el tiempo se puede conocer si el caso estudiado considera un avance en la reducción de vulnerabilidad, específicamente como los indicadores se relacionan con la medición de capacidad adaptativa y sensibilidad. De esta forma se puede reconocer si se trata de una buena medida de adaptación.

En cada uno de los casos de estudio analizados se presenta una tabla resumen,

---

<sup>3</sup> La Matriz de Indicadores será entregada en formato de Planilla Excel junto con el informe final de la consultoría

<sup>4</sup> Los estudios de caso fueron definidos según lo solicitado en los Terminos de Referencia de esta consultoría.

luego se describe de forma general el contexto y la problemática en la que el caso está inmerso (se realiza un resumen del documento usado como guía), y finalmente se entrega un set de indicadores cada caso estudiado (por cada indicador se presenta una tabla descriptiva).

La tabla de cada caso de estudio resume elementos principales tales como descripción general, objetivos, componentes e indicadores claves (que posteriormente se desarrollan mediante fichas descriptivas). Adicionalmente en la tabla se identifica si el proyecto representa una forma directa o indirecta de disminuir la vulnerabilidad. Así también, se identifica si el proyecto está relacionado principalmente al desarrollo económico. Finalmente, se responde si el proyecto analizado podría generar una adaptación inadecuada o no esperada (mal adaptación).

Generalmente, las medidas de adaptación pueden reducir el riesgo reduciendo la vulnerabilidad. Esta puede verse reducida cuando se reduce la sensibilidad del sistema o cuando se aumenta la capacidad adaptativa. Por su parte la capacidad adaptativa se puede alcanzar desde diferentes canales (Laudena et al., 2015):

- Creando directamente la capacidad de adaptación proporcionando los medios necesarios. Por ejemplo, proporcionar conocimientos medioambientales locales a los agricultores para que la comunidad esté preparada para la adaptación o construir infraestructuras físicas duraderas para hacer frente directamente a las catástrofes naturales causadas por el cambio climático.
- Creando indirectamente la capacidad de adaptación mediante la mejora de la capacidad económica, la construcción de infraestructuras físicas, el capital social y la mejora de la capacidad institucional. Este canal es también importante, ya que tiene como objetivo gestionar la naturaleza a largo plazo por efectos al cambio climático. De hecho, en la literatura sobre la vulnerabilidad, la capacidad económica representa los recursos económicos, los recursos humanos, las alternativas tecnológicas y el capital social disponibles para reducir la vulnerabilidad al cambio climático (Yohe y Tol, 2002 citado en Laudena et al., 2015).

Existen proyectos enfocados en el desarrollo del país donde es difícil separar el componente "económico" del proyecto de los aspectos que pueden construir a la adaptación del cambio climático, especialmente cuando los proyectos o



medidas se relacionan a un atributo indirecto de la capacidad adaptativa. Los proyectos de adaptación deben tener características adicionales además del desarrollo económico. Por lo tanto, es importante identificar cuando un proyecto que tiene su foco en el desarrollo económico permite igualmente adaptación al cambio climático (Laudena et al., 2015).

Las acciones de mal-adaptación o adaptación inadecuada se refieren a acciones que pueden i) aumentar el riesgo de resultados adversos relacionados con el clima, ii) aumentar la vulnerabilidad al cambio climático y iii) reducir el bienestar (propio o ajeno) en el presente o futuro (Noble et al., 2014). Las causas de estas pueden ser por la implementación de acciones que benefician a un grupo/sector en un momento determinado, pero pueden perjudicar a otro grupo en otra escala temporal, la falta de consideración o conocimiento sobre las interacciones y conflictos entre sectores y sistemas o cuando se exagera la capacidad potencial de una opción o tecnología para solucionar un problema que finalmente no cubre las expectativas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2015).

### 3.5.1. Infraestructura gris (a nivel de cuenca) y recarga de acuíferos

#### 3.5.1.1. Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos

Tabla 7. Estudio de Caso Infraestructura gris (a nivel de cuenca) y recarga de acuíferos

Características	Descripción
Nombre	Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos
País	Chile
Tipo de financiamiento	Estatal (público)
Monto de financiamiento	\$80.000.000 CLP
Año de aprobación y estado	2020 (Proyecto finalizado)
Objetivo	Fomentar creación de proyectos RAG (Recarga de Acuíferos Gestionada) en Chile, específicamente en el sector agrícola, a través de una Guía metodológica que entrega una orientación técnica y presenta el enfoque de garantizar la seguridad del agua potable para que ésta se considere parte integral de la

	planificación e implementación de una recarga adicional (CSIRO, 2020).
<b>Componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marcos de gestión internacional de riesgos aplicados a la RAG, a fin de levantar, comparar, contrastar y criticar la aplicabilidad de guías existentes de RAG, a nivel internacional para el contexto de Chile.</li> <li>• Revisión del estado del arte en la aplicación de RAG en Chile (contexto normativo, proyectos y pilotos realizados y su potencial de desarrollo futuro).</li> <li>• Guía metodológica: permite conocer distintos métodos RAG, los requerimientos técnicos, económicos y administrativos para su implementación. Mediante su aplicación se espera acelerar el progreso de los proyectos, reducir incertidumbre y evitar materialización de proyectos no adecuados. Puede ser útil para informar las consideraciones a nivel nacional y orientar sobre qué puede aplicarse a nivel local</li> </ul>
<b>Indicadores claves considerados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen anual de recarga del total de los acuíferos que monitoreen recarga</li> <li>• Número de proyectos nuevos de RAG al año desde el 2020</li> <li>• Presencia de proyectos RAG en sitios prioritarios obtenidos por la CNR para la "Guía Metodológica Recarga Artificial de Acuíferos"</li> </ul>
<b>directo o indirecto capacidad adaptativa?</b>	Directo (se promueve el conocimiento por medio de la creación del "Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos")
<b>¿El proyecto podría generar una adaptación inadecuada (mala adaptación)?</b>	En este caso, invertir en una acción de RAG que no cubrirían las necesidades o requerimientos hídricos esperados donde los esfuerzos financieros son mayores al impacto de los efectos del clima.
<b>¿Está el proyecto principalmente relacionado a desarrollo económico?</b>	No

Según lo indicado en "Marco operativo para proyectos de recarga artificial en

acuíferos" (CSIRO, 2020), en Chile se presentan diversos desafíos relacionados con el agua, tales como el sostenido aumento de la demanda, la disminución de la oferta, la insostenible extracción subterránea, una distribución desequilibrada y excesiva contaminación, todo ello ha impulsado la búsqueda de nuevas formas de gestionar el recurso hídrico con el fin de proporcionar seguridad hídrica a la sociedad. Por este motivo la Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG) se convirtió en una alternativa a la opción tradicional de almacenaje de agua llevada a cabo por medio de embalses. Por un lado, los embalses permiten un rápido llenado y liberación de agua, y son relativamente fáciles de administrar y monitorear, pero también, estas estructuras se relacionan a altos costos financieros, sociales y medioambientales. Además, son vulnerables a la contaminación, poseen altas tasas de evaporación y se ven afectados por la menor disponibilidad de terrenos.

Dado esto, desde el año 2012 se puede apreciar un aumento de interés en la Recarga de Acuíferos Gestionada en Chile, especialmente por parte de algunas autoridades públicas, las cuales han realizado estudios piloto con el fin de adquirir experiencia en RAG (CSIRO, 2020). El término RAG se describe como un "conjunto de métodos utilizados para recargar agua a los acuíferos de manera intencional para su recuperación y uso posterior o para la obtención de un beneficio ambiental" (Dillon, 2005; citado en CSIRO, 2020). Su principal beneficio es que los acuíferos ofrecen capacidades potenciales de almacenaje con magnitudes similares a los embalses, pero necesitan de una menor inversión de capital y tienen un menor impacto medioambiental y mayores impactos sociales (CSIRO, 2020). El proceso gestionado de recarga busca proteger la salud humana y el medio ambiente lo que involucra la gestión de los volúmenes y la calidad del agua. Esto es distinto simplemente a la descarga o el drenaje de agua, donde no se realiza un monitoreo o manejo activo (CSIRO, 2020).

En Chile existe una muy baja adopción de proyectos RAG debido a tres factores principales (CSIRO, 2020):

- 1) Falta de esquemas exitosos RAG formales y a gran escala, o falta de experiencias piloto de largos periodos operacionales. Esta falta de experiencias ha provocado una percepción de los proyectos RAG como riesgosos, por consiguiente, este tipo de proyectos no son considerados como deseables. Dado esto, los embalses se convierten en la forma más utilizada y aceptada para acumular agua. Además, se considera que la RAG es una tecnología relativamente nueva y su utilización aún genera desconfianza. Sin embargo, las comunidades cada vez exigen más consideraciones respecto de impactos medioambientales, prefieren

soluciones más sustentables y económicamente viables, por lo que la opinión pública respecto de una regulación adicional de caudales de agua mediante la implementación de nuevos embalses está comenzando a cambiar. De esta forma, los proyectos RAG se posicionan como una alternativa viable.

- 2) Falta de respaldo legislativo y regulatorio. Hay incertidumbre respecto a los estándares y procedimientos a cumplir y la estructura económica que permite determinar con seguridad los costos del ciclo de vida y la viabilidad de los proyectos RAG en el tiempo.
- 3) Existencia de limitaciones técnicas. Específicamente impedimentos técnicos de los acuíferos, el impacto potencial sobre terceros (ej.: usuarios de aguas subterráneas cercanos, y la factibilidad de lograr volúmenes de recarga y recuperación adecuados), así como riesgos medioambientales o a la salud humana.

Considerando la necesidad de implementar nuevos sistemas de almacenaje de agua, así como los factores de riesgos en la implementación de RAG, en 2019 la Comisión Nacional de Riego (CNR) impulsó el estudio "Guía Metodológica Recarga Artificial de Acuíferos", para de esta forma, reducir incertidumbres que rodean su diseño y operación, particularmente con respecto a la formulación de un marco metodológico de evaluación y gestión de riesgos.

El alcance del proyecto se centra en las aplicaciones de RAG limitadas a las siguientes condiciones (CSIRO, 2020):

- "Disponer de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAAs) superficiales posibles de infiltrar".
- "La fuente de agua se restringe a agua superficial sin mayor intervención previa, es decir, agua de lluvia o de ríos".
- "Los acuíferos objetivo son no confinados o libres y con zona no saturada".
- "El uso final del agua recuperada se restringe al respaldo para la agricultura de riego".

Así también, en "Anexo 2: Comparación de la cobertura de la "Guía Metodológica Recarga Artificial de Acuíferos"" se puede encontrar una comparación del alcance de la Guía en relación con las Guías de la Organización Mundial de Salud (OMS, 2011, citado en CSIRO, 2020)) y las Guías Australianas de RAG (NRM-MC-EPHC-NHMRC, 2009 citado en CSIRO, 2020).

Como se nombró con anterioridad, el objetivo de la Guía está enfocado en el uso

de agua para riego agrícola, pero a su vez en el marco de la Guía el agua recargada también puede ser utilizada para otros usos finales u objetivos, como (CSIRO, 2020):

- “Beneficios ambientales, por ejemplo, restaurar los sistemas de agua subterránea agotados, es decir, sostener los ecosistemas dependientes del agua subterránea”.
- “Barrera para prevenir la intrusión salina en las regiones costeras de acuíferos”.

Si bien, existen otros usos finales que se le podrían dar al agua recargada, como el aumento de agua potable, el suministro industrial no potable y los usos dementicos no potables, estos se excluyen de la Guía, ya que presentan un mayor nivel de riesgo, requiriendo más rigurosidad en cuanto a la investigación, monitoreo y tratamiento.

La Guía Metodológica entrega fichas descriptivas para diferentes métodos de infiltración considerados más relevantes para el sector agrícola en Chile. Proporcionan información relevante sobre el método, una descripción general, plazos de impetración y costo, requerimientos para su dueño, construcción y monitoreo, y ejemplos de casos de aplicación en Chile o internacionalmente. Las fichas se agrupan en dos tipos de proyecto según la definición de las escalas que están dadas por el alcance y el tamaño del proyecto. Los proyectos de primera escala incluyen: i) Sistemas de captación e infiltración de agua lluvia in situ, ii) canales de infiltración y iii) Zanjas de infiltración. Por su lado, los proyectos de segunda escala incluyen: 1) Piscinas de infiltración, ii) Pozos secos, iii) Galerías de infiltración, y iv) Métodos de infiltración dentro del cauce.

Dentro de los antecedentes del marco legal en torno a la RAG en Chile, se destaca que existe un vacío desde el punto de vista ambiental, donde pese a que se indica que los proyectos de recarga tendrán que asegurarse de “no afectar la calidad del agua”, no existen parámetros de calidad que guíen o precisen la calidad de la fuente de agua que se puede recargar (CSIRO, 2020).

Por otro lado, con el fin de fomentar las obras de acumulación e infiltración, a principios del 2019, en marco de la Ley de Fomento al Riego N°18.450, la CNR amplió el concurso público nacional para incluir piscinas de infiltración con la intención de repetirlo cada año (Concurso Nacional de obras de acumulación e infiltración) (CNR, 2019 citado en CSIRO, 2020), lo cual está alineado con la posición general de la CNR para promover proyectos RAG en el sector agrícola

en Chile. Sin embargo, la entidad pública no recibió postulaciones al concurso con respecto a proyectos de infiltración. Las razones que podrían explicar la falta de postulaciones podrían estar relacionadas con los tres factores mencionados con anterioridad. Dado esto, en el marco de este estudio la Guía metodológica también tiene el objetivo de acompañar el proceso de postulación al concurso de CNR para años posteriores (CSIRO, 2020).

El estudio también muestra los proyectos y pilotos RAG en Chile. Se indica que durante los últimos años se han desarrollado diversos proyectos de RAG en el país, donde la primera iniciativa formal orientada a la RAG fue impulsada por la DGA en el año 2012 en las cuencas del Choapa y Quilimarí (DGA, 2012; citado en CSIRO, 2020). Dentro de los proyectos RAG que realizan monitoreo, se identificaron nueve proyectos que utilizan pozos de observación, ocho documentan el caudal de entrada, seis monitorean el nivel de agua alcanzado en la obra/pozo de infiltración, cinco monitorean la calidad del agua de entrada y del acuífero y tres monitorean turbidez. De este modo, son siete los proyectos que documentan una estimación del volumen total de agua recargado (CSIRO, 2020). El monitoreo de los proyectos permite conocer el volumen de recarga ( $m^3$ ), dato que al aumentar podría indicar un aumento de la capacidad adaptativa. Así también, el documento presenta un capítulo dirigido a la y la localización de oportunidades de RAG en el país a partir de estudios previos realizados. Se entrega una descripción hidrogeológica de cuatro regiones de Chile, correspondientes a Atacama, Valparaíso, Metropolitana y Libertador General Bernardo O'Higgins. Además, provee una evaluación preliminar de idoneidad de sitio para la RAG, mediante la incorporación de un criterio de priorización a los resultados obtenidos por la CNR durante el año 2013. Se destaca que la identificación de zonas potenciales de recarga debe ir acompañado de los requerimientos de oferta y demanda de agua para priorizar zonas específicas.

Considerando el objetivo principal y los componentes de este estudio, se puede concluir que el proyecto tiene un impacto directo en la mejora de la capacidad adaptativa. Esto, ya que provee las bases técnicas y operativas para el desarrollo de proyectos de RAG en Chile, específicamente para el sector agrícola. Lo cual permite que mediante el uso de la "Guía Metodológica, Usuarios y Organizaciones de Usuarios de Agua" aumenten el conocimiento y reduzcan la incertidumbre para la creación o inversión en un proyecto de Recarga de Acuíferos Gestionada, pudiendo de esta forma utilizar el agua recuperada como respaldo para la agricultura de riego. Es decir, por medio de este estudio se proporcionan los medios necesarios que permitirían aumentar la capacidad adaptativa, logrando

reducir la incertidumbre para la creación de nuevos proyectos de RAG que eventualmente lograrán disminuir la escasez hídrica que afectara a la agricultura bajo riego en Chile.

Es relevante identificar y analizar posibles riesgos de mala adaptación que puedan resultar de la implementación de proyectos RAG que se podría generar una mala adaptación al exagerar una capacidad potencial de una opción o tecnología para solucionar un problema que no cumpla las expectativas. Es importante considerar el contexto donde se insertan los proyectos RAG y proyecciones de disponibilidad hídrica bajo escenarios futuro. En este contexto, es relevante que el objetivo de la política de fomento de la implementación de proyectos RAG (objetivos de desarrollo), se estén alineadas con los objetivos de cambio climático (reducción de la vulnerabilidad). Por un lado, el objetivo de los proyectos RAG buscan recuperar los niveles de acuíferos explotados para su posterior uso, que permitirán mantener actividades económicas, tal como lo agricultura, por otro lado, se debe tener especial cuidado respecto a las limitaciones de disponibilidad del recurso hídrico futuro bajo escenarios de cambio climático. Un riesgo de mala adaptación, producto de la implementación de un proyecto RAG, podría generar una percepción de una mayor disponibilidad de recurso hídrico futuro, expandiendo la superficie de riego que tendrán que ser remplazadas o excluidas en un futuro producto de la disminución de la precipitación futura.

En la siguiente sección se entrega una selección de indicadores que ayudan a identificar la vulnerabilidad del sistema en el contexto de recarga de acuíferos. Se considera una tabla descriptiva por cada uno de los indicadores.

### 3.5.1.1.1. Indicadores claves considerados

<b>Indicador</b>	<b>Volumen anual de recarga por acuífero del total de los acuíferos que monitoreen recarga</b>
Unidad de Medida	m <sup>3</sup> /año por acuífero
Descripción	<p>Suma de la recarga anual de cada acuífero que monitoree volumen de recarga.</p> <p>El volumen total de recarga de cada acuífero debe compararse con la demanda actual y futura de agua de cada sistema al cual el acuífero provea de recursos hídricos. De esta forma se determina si el proyecto RAG instalado es suficiente para cubrir la demanda de riego agrícola en el sistema donde esté instalado.</p> <p>Se debe considerar que no necesariamente se va a lograr una plena satisfacción de las necesidades, podrían existir limitaciones hidrogeológicas y/o económicas que implicarían que la demanda futura no quedara totalmente cubierta. En ese caso hay adaptación, pero también se genera un impacto residual.</p>
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	<p>Nacional: en caso de que se quiera conocer el volumen de recarga a nivel de país.</p> <p>Sub-nacional o local: en caso de que se realice un estudio de menor escala sumar el volumen anual de recarga de la zona a estudiar. Por ejemplo, si se quisiera realizar un estudio a nivel de cuenca.</p>
Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	Al conocer la variación del volumen de recarga a partir de acuíferos gestionados en el tiempo, se puede conocer si el sistema se encuentra o no almacenando agua bajo tierra. Esto se traduce en una disminución o en un aumento



	<p>del grado en que el sistema que se alimenta del acuífero se ve afectado por la disminución de precipitaciones en el contexto de cambio climático.</p> <p>Por lo tanto, en el caso de que aumentara el volumen de recarga de los acuíferos tanto el sistema de producción agrícola de riego, como el sistema ambiental de la cuenca (en caso de que el agua recargada se usara para esos fines específicos) se convertiría en uno menos vulnerable al cambio climático.</p>
Posibles fuentes de datos	<p>Dada la importancia de este indicador para la medición de vulnerabilidad de la agricultura de riego, sumada a la no existencia de monitoreo continuo del volumen de recarga de acuíferos gestionados, se propone la exigencia del monitoreo de recarga en cada proyecto realizado mediante un sistema de registro de datos automatizado que alimente una plataforma pública en línea.</p>

Indicador	<b>Número de proyectos nuevos de RAG al año desde el 2020 (Numero de proyectos nuevos de infiltración en el marco del Concurso nacional de obras de acumulación e infiltración)</b>
Unidad de Medida	Nº de proyectos/año
Descripción	Se toma de base el año 2020 ya que en ese año se publica la Guía Metodológica como apoyo para promover la construcción de proyectos RAG. Esto se realizó en el contexto del Concurso nacional de obras de acumulación e infiltración en el marco de la Ley de Fomento al Riego (Nº18.450), la cual se amplió a principios del 2019 por parte de la CNR para incluir piscinas de infiltración, año donde la entidad pública no recibió postulaciones respecto a proyectos de infiltración en el concurso.
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Nacional: en caso de que se quiera conocer el número de proyectos a nivel de país. Sub-nacional o local: en caso de que se realice un estudio de menor escala donde se quiera conocer en número nuevo de proyectos. Por ejemplo, si se quisiera realizar un estudio a nivel de cuenca
Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	El aumento de proyecto de RAG aumentaría la capacidad adaptativa, esto, ya que permitiría aumentar la disponibilidad de agua subterránea en un contexto de amenaza por disminución de precipitaciones por efecto del cambio climático y de una alta demanda del recurso hídrico por los usuarios.
Posibles fuentes de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenta Pública CNR 2019</li> <li>• Cuenta Pública CNR 2020</li> <li>• Accediendo al canal de consultas bajo la Ley Nº19.880, que regula el funcionamiento de las Oficinas de Información, Reclamos y Sugerencias (OIRS), se puede acceder desde el siguiente enlace: <a href="https://contactenos.cnr.gob.cl/">https://contactenos.cnr.gob.cl/</a></li> </ul>

	<p>Solicitud de información por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace:</p> <p><a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a></p>
--	--

<b>Indicador</b>	<b>Presencia de proyectos RAG en sitios prioritarios obtenidos por la CNR para la “Guía Metodológica Recarga Artificial de Acuíferos”</b>
Unidad de Medida	Cualitativo. Presencia (si=1), o no presencia de proyecto RAG en sitio prioritario (no=0)
Descripción	Permite tener conocimiento si se están implementando o no proyectos RAG en sitios definidos como prioritarios en Chile.
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Nacional, sub-nacional y local.
Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	Una mayor presencia de proyectos RAG en sitios prioritarios se traduce en una mejora de la capacidad adaptativa de esa comuna al aumentar la disponibilidad subterránea de agua, de esta forma el sistema que se alimente de ese acuífero será menos vulnerable al cambio climático.
Posibles fuentes de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos (idoneidad) (CSIRO, 2020)</li> </ul> <p>Información complementaria:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis desde Arica hasta el Maule: ¿Dónde hay Condiciones para la Recarga Artificial de Acuíferos en Chile? (Cabrera, 2014)</li> <li>• Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuíferos en las regiones de Arica y Parinacota a la región del Maule (CNR, 2013) .</li> </ul>

### 3.5.2. Tecnología de riego e infraestructura

#### 3.5.2.1. Programa de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje - Ley N° 18.450 (Obras menores y medianas)

Tabla 8 Estudio de Caso Tecnología de riego e infraestructura

Características	Descripción
<b>Nombre</b>	Programa de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje - Ley N° 18.450 (Obras menores y medianas)
<b>País</b>	Chile
<b>Tipo de financiamiento</b>	Presupuesto de la CNR, Tesoro Público y aportes privados
<b>Monto de financiamiento</b>	\$82.838.955 (Miles de \$ 2019) (promedio 2015-2019) (CNR, 2019)
<b>Año de aprobación y estado</b>	Ley N°18.450 inicia en 1985 a 2021. Actual tramitación en el congreso para prorroga de 12 años.
<b>Objetivo</b>	“Desde su gestación en 1985, la Ley N°18.450 de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje, ha tenido por objeto otorgar una bonificación al costo de construcción de proyectos de riego de los productores agrícolas que cumplan, con el fin de incrementar la superficie regada del país, provocar un mejoramiento del abastecimiento de agua en aquellas áreas regadas en forma deficitaria, incentivar un uso más eficiente de la aplicación del agua e incorporar nuevos suelos a la explotación agropecuaria, esto último, por la vía de eliminar el mal drenaje o facilitar la puesta en riego de suelos actualmente de seco” (CNR, 2019). La institución a cargo del Programa es la CNR y de la construcción de infraestructura el MOP.
<b>Componentes</b>	El “Informe Final de Evaluación de Programas Gubernamentales (EPG). Programa Obras Riego Menores y Medianas Ley 18.450 y Fomento al riego Art.

	<p>3, Inciso 3" (CNR, 2019), es la fuente de información más reciente publicada por la CNR que entrega el estado de avance de la aplicación de la Ley N° 18.450. El informe se divide en los siguientes componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Información general del programa. En esta sección se realiza una descripción general del programa, una caracterización y cuantificación de población potencial y objetivo, así como de los y antecedentes presupuestarios.</li> <li>• Evaluación de programa. Se justifica la realización del programa. Luego se describe el nivel de eficacia de los resultados obtenidos entre el 2015 y 2018, y el nivel de satisfacción del usuario bajo el marco del Programa. Más tarde, se detalla en el ámbito económico el uso de los recursos financieros otorgados al programa, los aportes de terceros, la ejecución presupuestaria y se menciona la no existencia de un mecanismo para la recuperación de gastos. Luego, se abarca la eficiencia del programa a nivel de costos medios de las obras, costos medios por hectárea, o bonificación por superficie, proyecto o beneficiario, así también se describen los gastos administrativos. Finalmente, se detallan los resultados de la implementación del programa.</li> <li>• Conclusiones y recomendaciones.</li> </ul>
<p><b>Indicadores claves considerados</b></p>	<p>Generales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la productividad mediante el riego de tierras agrícolas</li> <li>• Variación porcentual de superficie de tierras agrícolas con sistemas de riego mejorado en un año</li> <li>• Número total de obras de infraestructuras de riego (pequeña y mediana) que permitan seguridad de riego evaluado en escenarios de cambio climático al 2050 en comunas, provincias o regiones que posean un historial de decretos como zonas de escasez hídrica según los Decretos declaratorios del MOP-DGA</li> </ul> <p>Distinguen según tipo de beneficiario:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de número de obras nuevas respecto a un número base de obras por tipo de beneficiario</li> <li>• Monto (\$), número de subsidios otorgados y área finalmente tecnificada por tipo de beneficiario en un periodo de tiempo</li> <li>• Número de nuevas organizaciones de usuarios de agua gestadas a partir de la Ley 18.450 para formalizar una postulación como beneficiarios al año</li> <li>• Porcentaje del territorio nacional que tienen “Plan Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH)”</li> </ul>
<p><b>¿El proyecto podría generar una adaptación inadecuada (mala adaptación)?</b></p>	<p>La implementación de esta medida puede llevar a una mala adaptación, al expandir hectáreas de riego que a futuro tendrán que ser remplazadas o abandonadas por la no consideración de escenarios futuros bajo el contexto de cambio climático en la disponibilidad hídrica.</p> <p>Así también, algunos específicos que podrían generar mal adaptación pueden estar dados por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fomento a la bonificación de obras de conducción como el entubamiento de canales que disminuye la infiltración de agua y la recarga de acuíferos.</li> <li>- Manejo de riego y calidad de aguas insuficientes podría generar riego de salinización de suelos.</li> <li>- Uso de sistemas de riego presurizados podría aumentar la demanda por energía, la cual, dependiendo de las fuentes, podría llevar a mayores emisiones de GEI.</li> <li>- Infraestructura de riego abandonada por desuso.</li> </ul>
<p><b>¿Representa un canal directo o indirecto para mejorar la capacidad adaptativa?</b></p>	<p>Indirecto (por medio de la capacidad económica, subsidios en este caso, se permite la construcción de obras de riego y drenaje con el fin último de mejorar la productividad, lo cual indirectamente podría implicar una mejora en la capacidad adaptativa en caso de que no se genere una mal adaptación)</p>
<p><b>¿Está el proyecto principalmente relacionado a</b></p>	<p>SI</p>

<b>desarrollo económico?</b>	
----------------------------------	--

El objetivo de la Ley N°18.450 de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (en adelante el programa o Ley de Fomento al Riego) es otorgar una bonificación al costo de construcción de proyectos de riego de los productores agrícolas que cumplan, con el fin de incrementar la superficie regada del país, provocar un mejoramiento del abastecimiento de agua en aquellas áreas regadas en forma deficitaria, incentivar un uso más eficiente de la aplicación del agua e incorporar nuevos suelos a la explotación agropecuaria, esto último, por la vía de eliminar el mal drenaje o facilitar la puesta en riego de suelos actualmente de secano (CNR, 2019).

A través de la Ley de Fomento al Riego, la CNR subsidia desde 1986 un porcentaje de los costos de ejecución de las obras privadas de riego (obra civil, drenaje o tecnificación), presentadas por agricultores. El porcentaje máximo de bonificación al cual puede optar un proyecto está determinado por el tipo de beneficiario: 90% pequeños productores INDAP, 80% pequeño empresario agrícola, 70% medianos y grandes empresarios agrícolas, 80% organizaciones de usuarios, 90% organizaciones de pequeños usuarios<sup>5</sup>(CNR, 2019).

El programa bonifica obras menores y obras medianas. Las primeras corresponden a obras menores de riego y drenaje cuyo costo no supera las UF 15.000, para este componente existe también una bonificación para la pequeña agricultura, la cual considera un subgrupo dentro de los pequeños empresarios denominado “pequeños productores no INDAP”. Por otro lado, las obras medianas corresponden a proyectos integrales multipropósito de riego y drenaje cuyo costo es superior a las UF 15.000 e inferior a UF 250.000 (CNR, 2019).

En cuanto a la evaluación del programa, el Informe Final EPG destaca la justificación de la Ley de riego, la cual tiene su base en aumentar las hectáreas bajo riego en suelos aptos para la agricultura por medio de infraestructura, esto, ya que una de las principales limitaciones para el aprovechamiento productivo de parte importante de esa superficie es la necesidad de riego y, en ese contexto, la insuficiente infraestructura que existe en el país para implementarlo, así como la ineficiencia en el uso de los recursos hídricos (CNR, 2019). Además, se enfatiza en que, pese a los avances realizados en la última década en el contexto del

---

<sup>5</sup> Las Organizaciones de Usuario se organizan por: Juntas de vigilancia, Asociaciones de Canalistas, Comunidades de Aguas y Comunidades de Aguas Subterráneas.

programa, el problema sigue vigente y se ve agravado por el cambio climático y la creciente demanda por uso de recursos hídricos, tanto por parte de la población como por el sector productivo. Así también, se habla sobre las posibles fallas de mercado en las que está incurriendo la realización del programa dada la intervención del Estado de bonificar o subsidiar la inversión, dado esto, se concluye que parece conveniente revisar el diseño actual del programa calificando las fallas de mercado que se pretenden resolver y diseñar un instrumento que responda actualmente al diagnóstico (CNR, 2019).

Por otro lado, se evaluó la eficacia del programa donde se concluye que la superficie de nuevo riego acumulada desde el año base respecto de la superficie regada del VII Censo Silvoagropecuario del año 2007 ha ido aumentando en términos porcentuales a un ritmo creciente de 18,77% durante el período de evaluación (entre el 2015 y 2018), lo que contribuye directamente al sistema productivo agrícola del país, especialmente considerando la actual necesidad del cuidado del recurso hídrico para contrarrestar los efectos del cambio climático que se manifiestan a lo largo de todo el territorio, donde se hace necesario aplicar medidas de adaptación (CNR, 2019). Otro aspecto considerado en la evaluación de la eficacia fue el nivel de satisfacción del usuario, que, según encuestas de satisfacción realizada a los agricultores en el periodo de estudio, se obtuvo una satisfacción neta positiva que fluctuó entre 60 a 76% (CNR, 2019).

Respecto al ámbito económico, el presupuesto inicial para la Ley de riego representó entre un 50 a 51% del presupuesto total de la CNR en el periodo 2015-2019, y en cuanto a la ejecución respecto al presupuesto vigente está entre 98,9 y 99,9% entre 2015 y 2018 (CNR, 2019).

Sobre el nivel de eficiencia, el informe destaca que no se han definido indicadores de eficiencia para evaluar el programa a nivel de resultados intermedios y de resultados finales, en este contexto no existen indicadores institucionales que permitan medir estos logros, que considere, por ejemplo, variables de resultado como productividad por hectárea, rubro financiado o Valor Bruto de la Producción. Se menciona que es complejo medir estos parámetros pues si bien el riego es un factor productivo importante dentro del sistema agrícola, es tan solo un insumo más dentro de la estructura de costo, por lo que sería necesario ponderar su participación en el resultado final de ingresos de la explotación (CNR, 2019).

En términos de eficiencia del programa se obtiene resultados a nivel de costos



medios de las obras, costos medios por hectárea, o bonificación por superficie, proyecto o beneficiario, así también se describen los gastos administrativos asociados (CNR, 2019).

Así también el informe incluye una sección de conclusiones sobre el desempeño global de la Ley de riego. En cuanto se concluye que no hay una justificación clara de los fallos de mercado que el programa pretende resolver y que tampoco se observa la existencia de externalidades positivas significativas que justifiquen la entrega de un subsidio a la inversión privada en obras de riego y drenaje, por lo que parece conveniente revisar el diseño actual del programa calificando aquellos puntos. Por otro lado, en cuanto a los resultados, se concluye que implementación de la Ley se encuentra en la dirección correcta, puesto que genera un aumento en la superficie de riego y un cambio de bienestar de sus beneficiarios, lo que contribuye directamente al sistema productivo agrícola del país (CNR, 2019).

De forma final, el informe entrega recomendaciones en cuanto al diseño del programa, su implementación y sobre el seguimiento y monitoreo de la Ley de riego en el tiempo (CNR, 2019).

Considerando el resumen entregado sobre “Informe Final EPG de Programa Obras Riego Menores y Medianas Ley 18.450 y Fomento al riego Art. 3, Inciso 3”, el cual entrega una actualización del estado de la Ley N° 18.450 en el país, se concluye que dicha Ley tiene un impacto directo en la mejora de la capacidad adaptativa en el componente evaluado “tecnología de riego e infraestructura”. Esto, ya que el subsidio económico entregado a los beneficiarios para la construcción de obras civiles, de drenaje o de tecnificación de riego, efectivamente ha logrado incorporar y habilitar nueva superficie de riego en tierras agrícolas cultivables desde el inicio del programa. Es decir, por medio de este programa se proporcionan los medios necesarios para aumentar la capacidad adaptativa por medio de la construcción de infraestructura que permite al sistema ser menos vulnerable frente al cambio climático, al existir menor superficie agrícola expuesta a la sequía provocada por una disminución de las precipitaciones en el territorio, lo que potencialmente podría significar la pérdida de producción en caso de no mejorar la tecnificación del riego o de no construir infraestructura de apoyo.

Algunas acciones de adaptación pueden aumentar el riesgo relacionados al clima, aumentar la vulnerabilidad al cambio climático o reducir el bienestar (propio y ajeno) en el presente o en el futuro, generando una posible mala

adaptación. En el contexto de Programa de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje - Ley N° 18.450 (Obras menores y medianas), puede generar acciones no deseadas, tal como una expansión de la superficie cultivada en una zona con limitaciones en la disponibilidad hídrica futura, que podrían ser abandonadas. Es relevante considerar que el fomento al riego tecnificado, no se traduzca en un aumento de la superficie por una expectativa en el aumento de la disponibilidad del recurso hídrico en zonas donde la escasez de agua sea un problema, o que por medio de proyecciones climáticas se prevea escases hídrica en el futuro.

En la siguiente sección se entrega una selección de indicadores que ayudan a identificar la capacidad adaptativa del sistema en el contexto de tecnología de riego e infraestructura, en la tabla descriptiva de cada indicador se indica si se hace una distinción por tipo de beneficiario de la Ley. Esto permite tener indicadores que distingan entre pequeña, mediana y gran agricultura.

### 3.5.2.1.1. Indicadores claves considerados

Indicador	<b>Aumento de la productividad mediante el riego de tierras agrícolas</b> (Hammill et al., 2014)
Unidad de Medida	Porcentaje (%)  (Productividad actual / productividad futura) * 100
Descripción	El indicador entrega información sobre el aumento potencial de la productividad resultante del riego de las tierras agrícolas como medida de adaptación. Permite realizar comparaciones temporales y territoriales de los niveles de productividad.  Se debe considerar como limitante que si bien el riego es un factor productivo importante dentro del sistema agrícola, existen otras causas que pueden conducir a una mayor productividad, como el suelo, fertilización, uso de agroquímicos, manejos, etc.
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Nacional y sub-nacional (comunal y regional)

<p>Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad</p>	<p>Disminución de la vulnerabilidad al cambio climático, al mejorar la capacidad adaptativa por medio de infraestructura o tecnificación del riego que posibilita una mayor eficiencia en el uso del recurso hídrico o también un aumento en la superficie de tierras cultivables bajo riego, permitiendo de esta forma un aumento de la productividad agrícola en la zona.</p> <p>Dado que la tecnificación del riego permite un uso de agua más preciso para los cultivos, es más probable que se rieguen con una cantidad de agua adecuada, lo que puede favorecer el rendimiento.</p> <p>En caso de que la escasez de agua sea un problema en la zona, o que por medio de proyecciones climáticas se prevea escases hídrica en un futuro cercano, un aumento en la superficie de tierras cultivables bajo riego podría conducir a una mala adaptación, ya que se aumentaría la exposición del sistema amenazado.</p>
<p>Posibles fuentes de datos</p>	<p>Se propone implementación de un sistema nacional de estimación de productividad de tierras agrícolas con y sin riego, por la vía de datos de encuestas y el uso de modelos de simulación que permita distinguir los cambios en la productividad luego de la implementación de obras de riego.</p>

<p><b>Indicador</b></p>	<p><b>Variación porcentual de superficie de tierras agrícolas con sistemas de riego mejorado en un año</b> (adaptado de Hammill et al., 2014)</p>
<p>Unidad de Medida</p>	<p>Porcentaje (%)</p>
<p>Descripción</p>	<p>Se considera un año referencial para conocer la variación de tierras agrícolas con sistemas de riego mejorado considerado como base la superficie tecnificada del país según el VII Censo</p>

	Silvoagropecuario 2007.
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Nacional y sub-nacional (comunal y regional)
Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	<p>Disminución de la vulnerabilidad al cambio climático al mejorar la capacidad adaptativa permitiendo un aumento de la eficiencia en el uso del recurso hídrico por medio de la tecnificación del riego.</p> <p>Si la mejora del riego implica que el recurso hídrico sobrante dado por la mayor eficiencia se utiliza en aumentar la superficie regada, se podría generar una mala adaptación en zonas con problemas de escasez hídrica o donde se proveen problemas futuros.</p>
Posibles fuentes de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe Gestión Ley 18.450 (CNR, 2019).</li> <li>• Solicitud de información por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace:  <a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a> </li> </ul>

<b>Indicador</b>	<b>Porcentaje de número de obras nuevas respecto a un número base de obras por tipo de beneficiario</b>
Unidad de Medida	Porcentaje (%)
Descripción	Conocer las obras de infraestructura construidas por tipo de beneficiario, entrega una aproximación del apoyo que se está entregando a la pequeña, mediana y gran agricultura en el país por medio de la Ley N° 18.450. Este indicador permitiría conocer el progreso del apoyo entregado por beneficiario en el tiempo.

	<p>Los tipos de beneficiarios son: Pequeños productores agrícolas INDAP y no INADP, pequeños empresarios agrícolas, medianos y grandes empresarios agrícolas, organizaciones de usuarios de agua y organizaciones de usuarios de agua de pequeños productores agrícolas.</p>
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Nacional, sub-nacional, local
Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	<p>La construcción de infraestructura aumenta la flexibilidad de la gestión del agua a nivel local (cuando se trata de obras menores) y a nivel regional (cuando son obras intermedias), así también mejora la disponibilidad del recurso hídrico. Esto permite que la capacidad adaptativa aumente, por lo que la vulnerabilidad del sector agrícola se ve reducida.</p> <p>Reconocer el beneficiario que recibe la obra permite conocer si el subsidio está llegando a grupos de productores que son más vulnerables al cambio climático como lo es la pequeña agricultura.</p>
Posibles fuentes de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de la Ley N°18.450 que subsidia obras privadas de riego (2010-2020) (Miranda, 2021)</li> <li>• Informe Gestión Ley 18.450 (CNR, 2019).</li> <li>• Solicitud de información por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace:  <a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a> </li> </ul>

<b>Indicador</b>	<b>Monto (\$), numero de subsidios otorgados y área finalmente tecnificada por tipo de beneficiario en un periodo de tiempo</b>
Unidad de Medida	CLP\$/año , N°/año y área tecnificada (ha)/año. O por ejemplo CLP\$/entre 2010-2020, N°/2010-2020 y área tecnificada (ha)/2010-2020
Descripción	Conocer cuántos subsidios se entregan, el monto total subsidiado y la superficie tecnificada según el tipo de beneficiario, entrega una aproximación del apoyo que se está entregando a la pequeña, mediana y gran agricultura en el país por medio de la Ley N° 18.450. Este indicador permitiría conocer el progreso del apoyo entregado por beneficiario en el tiempo, además de conocer la eficiencia en el uso del recurso monetario <sup>6</sup> Los tipos de beneficiarios son: Pequeños productores agrícolas INDAP y no INADP, pequeños empresarios agrícolas, medianos y grandes empresarios agrícolas, organizaciones de usuarios de agua y organizaciones de usuarios de agua de pequeños productores agrícolas.
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Nacional, sub-nacional, local
Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	Representa una dimensión de los recursos económicos disponibles para reducir la vulnerabilidad al cambio climático.  Reconocer el beneficiario que recibe la obra permite conocer si el subsidio está llegando a grupos de productores que son más vulnerables al cambio climático como lo es la pequeña agricultura, disminuyendo la sensibilidad del sistema.
Posibles fuentes de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de la Ley N°18.450 que subsidia obras privadas de riego (2010-2020) (Miranda, 2021)</li> <li>• Informe Gestión Ley 18.450 (CNR, 2019).</li> <li>• Solicitud de información por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente</li> </ul>

	enlace: <a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a>
--	--

---

<sup>6</sup> Ver comparación realizada en ANÁLISIS DE LA LEY N°18.450 QUE SUBSIDIA OBRAS PRIVADAS DE RIEGO (2010-2020) (Miranda, 2021).

Indicador	<b>Número total de obras de infraestructuras de riego (pequeña y mediana) que permitan seguridad de riego <sup>7</sup>evaluado en escenarios de cambio climático al 2050 en comunas, provincias o regiones que posean un historial de decretos como zonas de escasez hídrica según los Decretos declaratorios del MOP-DGA<sup>8</sup></b>
Unidad de Medida	Nº obras totales en la zona a estudiar
Descripción	<p>Permite conocer la vulnerabilidad del riego en la agricultura en comunas, provincias o regiones que se encuentran en estado de sequía.</p> <p>Es necesario que los desarrollos de nueva infraestructura contemplen la disponibilidad de agua en contexto de cambio climático. Se plantea que la seguridad de riego (85%) se contemple con la hidrología futura usando escenarios pesimistas (ej. RCP 8.5) al 2050.</p> <p>Para determinar las zonas de escasez hídrica se propone que se identifiquen zonas que posean al menos 10 años de Decretos declaratorios del MOP-DGA en un total de 30 años.</p> <p>Con ubicación de las zonas decretadas en sequía, y con la ubicación de las obras de infraestructura, ambos objetos se pueden mapear usando SIG para facilitar su correlación.</p>
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Sub-nacional (regional y comunal)
Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	<p>Una mayor presencia de infraestructura de riego en comunas en estado de sequía se traduce en una mejora de la capacidad adaptativa de esa comuna ya que aumenta la flexibilidad de la gestión y la disponibilidad de agua.</p> <p>En caso de que la infraestructura de riego no considere seguridad de riego evaluado en escenarios de cambio climático al 2050, esto se puede traducir en una mal adaptación y se relaciona pérdidas económicas.</p>



Posibles fuentes de datos	<p>Para conocer las comunas en estado de sequía:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de los "Decretos declaración zona de escasez vigente" informados por el MOP-DGA. (<a href="https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx">https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx</a>)</li> </ul> <p>Para conocer el N° de obras de infraestructuras de riego</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe Gestión Ley 18.450 (CNR, 2019).</li> <li>• Solicitud de información por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace: <a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a></li> </ul>
---------------------------	---

<b>Indicador</b>	<b>Número de nuevas organizaciones de usuarios de agua (OUA) gestadas a partir de la Ley 18.450 para formalizar una postulación como beneficiarios por año</b>
Unidad de Medida	N°/año
Descripción	El indicador permite conocer el fortalecimiento de la gestión de organizaciones de regantes. Al contabilizar el número de postulaciones realizadas se podría deducir que para ello tuvieron que organizarse, lo que demuestra el fortalecimiento de estas organizaciones.
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Nacional y sub-nacional (regional, comunal y a escala de cuenca)

<sup>7</sup> Condición de pleno regadío con seguridad de 85% en la superficie.

<sup>8</sup>

<https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>

Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	Permite aumentar la eficiencia en el uso del agua, la flexibilidad de la gestión y la disponibilidad, lo que finalmente aumenta la eficacia de la medida de adaptación disminuyendo la vulnerabilidad del sistema agrícola al hacerlo menos sensible.
Posibles fuentes de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Se propone cruzar la información del nombre del representante de la OUA (información de la DGA) con información de la CNR sobre los beneficiarios de la Ley 18.450 de ese año.</a></li> <li>• Solicitud de información por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace: <a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a></li> </ul>

<b>Indicador</b>	<b>Porcentaje del territorio nacional que posee un “Plan Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH)”</b>
Unidad de Medida	%
Descripción	<p>Actualmente la Dirección General de Aguas se encuentra desarrollando PEGH para las cuencas de Chile. La iniciativa busca apoyar la gestión sustentable del recurso hídrico, donde los Planes consideran la demanda actual y proyectada del agua, y proponen una cartera de proyectos en base al diagnóstico. Estos planes consideran el monitoreo hidrológico de cuencas, otorgando información actualizada para la toma de decisiones (DGA, 2020).</p> <p>Este indicador de proceso permite conocer el avance y preparación de las cuencas considerando la disponibilidad hídrica futura, demanda y oferta del recurso bajo cambio climático. Permite fortalecer la coordinación</p>

	inter-institucional, fortaleciendo las capacidades de adaptación bajo información robusta.
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	A nivel de cuencas
Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	<p>La creación de PEGH en las cuencas del país se relaciona a una disminución de la vulnerabilidad, dado que la implementación de los planes impulsa una mejora en eficiencia de uso y manejo sostenible de los recursos hídricos lo que promueve el cuidado del patrimonio ambiental.</p> <p>La vulnerabilidad se reduce mediante el aumento de capacidades de adaptación producto de una planificación que incorpora variables ambientales, al incorporar la oferta de recurso hídrico actual y futuro como la amenaza, la demanda como la exposición y la planificación e implementación de una cartera de proyectos que buscan gestionar el recurso de manera adecuada.</p> <p>De forma complementaria, la implementación de múltiples PEGH en distintas cuencas del país crearán un sistema menos sensible ante amenazas climáticas futuras para todos los sectores que dependan del uso del recurso hídrico.</p>
Posibles fuentes de datos	<p>Solicitud de información por Ley de Transparencia a la DGA respecto al estado de desarrollo de "Planes Estratégicos de Gestión Hídrica" (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace:</p> <p><a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a></p>

### **3.5.3. Soluciones basadas en la Naturaleza**

#### **3.5.3.1. Proyecto Manejo Sustentable de la Tierra (PMST), proyecto Putre y General Lagos, Región de Arica y Parinacota.**

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) se definen como “acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales o modificados que hacen frente a los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad” (UICN, 2016 citado en IUCN, 2020). Estas soluciones o acciones son usualmente usadas en conjunto de otros tipos de estrategias, como, la planificación regional o de cuencas hidrográficas, la formulación de políticas públicas o el desarrollo económico, de esta forma lograr los propósitos finales en la sociedad (UNEP, 2018 citado en Miralles-Wilhelm & Iseman, 2021). Adicionalmente, es importante destacar que todas las SbN buscan maximizar la capacidad de la naturaleza para proporcionar servicios ecosistémicos que ayuden a abordar desafíos humanos como la adaptación al cambio climático, la producción de alimentos o la reducción de riesgos de desastres (Matthews et al, 2019 citado en Miralles-Wilhelm & Iseman, 2021). Las SBN con enfoque climático implican “conservar, restaurar o gestionar mejor los ecosistemas para eliminar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmosfera” (American University, s.f).

Las SbN se implementan en casos y lugares específicos para abordar distintos objetivos, los cuales están generalmente relacionados tal como se nombró con anterioridad la mitigación del cambio climático por medio del secuestro de carbono, la reducción de emisiones, la adaptación al cambio climático, la conservación de la tierra, agua y la biodiversidad, así como otros servicios ecosistémicos y benéficos que puede generar una gran variedad de resultados (Miralles-Wilhelm & Iseman, 2021). Por ejemplo, se promueve la gestión de los residuos, cultivos de cobertura o prácticas de erosión para promover la retención de la vegetación y el suelo (Griscom et al., 2017).

Respecto de las SbN en el marco de la agricultura existen dos categorías: (1) las SbN que se producen directamente en el ámbito productivo agrícola y son aplicadas como acciones de manejo por los productores, y (2) las SbN que son implementadas a escala de paisaje o de ecosistema. Estas últimas, son aplicadas por diversas partes interesadas, como organismos públicos, empresas y propietarios privados. Dentro de la categoría “SbN en paisajes agrícolas” el

documento "Nature-based solutions in agriculture, the case and pathways for adoption" (Miralles-Wilhelm & Iseman, 2021) clasifica de forma general cinco actividades diferentes que tienen funciones específicas y generan co-beneficios en el ecosistema. Estas pueden ser implementadas en forma conjunta o individual en un territorio: (1) Evitar la conversión de bosques y pastizales; reforestación, (2) Evitar impactos en humedales costeros, (3) Gestión forestal natural, (4) Restauración de humedales y zonas húmedas y (5) Gestión del riesgo de incendios.

Dado que cada una de las actividades relacionadas a las SbN trata de cumplir con funciones diferentes, su aplicación o implementación se relaciona a adaptaciones de acciones a nivel local. Por lo tanto, para el contexto de este proyecto se analizó la aproximación hacia la adaptación de cambio climático un estudio de caso implementado en la región de Arica y Parinacota para el "Proyecto Manejo Sustentable de la Tierra" (MINAGRI & CONAF, 2019).

El "Proyecto Manejo Sustentable de la Tierra" (PMST), es un proyecto ejecutado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), perteneciente al Ministerio de Agricultura (MINAGRI), financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por su sigla en inglés), bajo supervisión del Banco Mundial. Tiene por principal objetivo contribuir a "revertir la desertificación y degradación de la tierra, contribuir a la mitigación del cambio climático y potenciar el uso sustentable de la biodiversidad, mediante la aplicación de prácticas de manejo sustentable de la tierra incluidas en los Instrumentos de Fomento del MINAGRI" (MINAGRI & CONAF, 2019).

El PMST fue implementado en cinco regiones del país y sus planes pilotos están considerados dentro de los proyectos en el territorio donde se implementarán las medidas de acción que contempla la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetaciones (ENCCRV). Los proyectos considerados dentro de la Estrategia tienen el propósito de generar modelos de gestión eficientes para replicar y escalar a nivel nacional las actividades y medidas de acción, que beneficiarán a las comunidades locales que se vinculan con los recursos vegetaciones (MINAGRI et al., 2017).

Las intervenciones ejecutadas en el marco del PMST están focalizadas en cinco ecosistemas prioritarios: Altiplano, Matorral árido mediterráneo, Sabana y bosque esclerófilo del secano costero e interior, Pastizales y bosque degradado de la región de la Araucanía y Estepa magallánica. Estos fueron definidos según su importancia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad, además

se definieron según su relevancia para la gestión y desarrollo de áreas productivas. La selección de las cinco áreas se realizó mediante juicio experto considerando que son ecosistemas representativos de distintas realidades ecológicas y sociales en donde la aplicación de los instrumentos de fomento del Estado podría abrir nuevas posibilidades de perfeccionamiento de estos instrumentos, lo que permitiría revertir situaciones donde los niveles de degradación de la tierra amenazan la sustentabilidad de los biomas que se encuentran presentes en la zona (MINAGRI & CONAF, 2019).

La Tabla 9 resume este proyecto de forma general, luego se detallan las actividades ejecutadas específicamente en las comunas mencionadas. Finalmente se describen tres indicadores de adaptación útiles para conocer la vulnerabilidad del sistema frente al cambio climático asociado a este tipo de proyectos.

**Tabla 9. Estudio de Caso Soluciones Basadas en Naturaleza**

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
<b>Nombre</b>	Proyecto de Manejo Sustentable de la Tierra (PMST)  Informe usado como Guía: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anexo 7. Plan Marco de Gestión Ambiental. Proyecto GEF Manejo Sustentable de la Tierra (2019) (MINAGRI &amp; CONAF, 2019)</li> <li>• Proyecto específico a analizar: Área Putre y General Lagos, Región de Arica y Parinacota.</li> </ul>
<b>País</b>	Chile
<b>Tipo de financiamiento</b>	Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés), bajo supervisión del Banco Mundial
<b>Monto de financiamiento</b>	US\$ 5,8 millones <sup>9</sup>
<b>Año de aprobación y estado</b>	Inicio 2013, fin 2020
<b>Objetivo</b>	“Desarrollar un programa nacional de incentivos para

<sup>9</sup><https://documents1.worldbank.org/curated/en/132071468023423083/text/634300PAD0SPAN0Dev000PAD00Espa0o10.txt>

	<p>promover prácticas de manejo sustentable de la tierra para combatir la degradación de la tierra, conservar la biodiversidad y proteger sumideros de carbono." (MINAGRI &amp; CONAF, 2019).</p>
<p><b>Componentes</b></p>	<p>El "Anexo 7. Plan Marco de Gestión Ambiental. Proyecto GEF Manejo Sustentable de la Tierra", es la fuente de información más reciente publicada por MINAGRI-CONAF que corresponde a una actualización de la primera versión elaborada en el 2012, a raíz de la incorporación de nuevas tipologías de actividades, modificación de normativa y ampliación de áreas de intervención. El documento se estructura de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El documento inicialmente informa en detalle el "Marco Normativo Ambiental" bajo el cual está circunscrito el programa.</li> <li>• Aborda las Políticas Operacionales del Banco Mundial, institución que supervisa el proyecto.</li> <li>• Se describen las instituciones gubernamentales involucradas en el PMST.</li> <li>• Puntualización de los instrumentos de fomentos aplicables, principalmente Ley N° 20.283 y SIRD-S.</li> <li>• Se describe el Proyecto Manejo Sustentable de la Tierra, los objetivos, metodología y alcance del trabajo.</li> <li>• Definición de las cinco áreas de intervención del proyecto.</li> <li>• Arreglos institucionales y gestión de cada proyecto en el territorio.</li> <li>• Aplicación de instrumento de fomento en los proyectos definidos, se detalla la estructura de gestión en cada caso.</li> <li>• Aplicación de cada instrumento de fomento en cada uno de los cinco proyectos.</li> <li>• Análisis de los impactos que pueden causar los proyectos</li> <li>• Resumen de las actividades anteriores con sus potenciales impactos y medidas de control.</li> <li>• Identificación de efectos ambientales y medidas de mitigación en la aplicación de los instrumentos (SIRSD y Ley N° 20.283)</li> <li>• Actividades ejecutables y medidas contra el cambio climático y protección de biodiversidad.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo y evaluación continua.</li> <li>• Conclusión y recomendaciones.</li> </ul>
<b>Indicadores considerados claves</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promedio anual del nivel de agua monitoreado en el humedal</li> <li>• Riqueza taxonómica de especies en el área a estudiar</li> <li>• Porcentaje del área intervenida del total de área degradada que requiere de intervención.</li> </ul>
<b>¿El proyecto podría generar una adaptación inadecuada (mala adaptación)?</b>	En general las acciones o soluciones basadas en Naturaleza generan múltiples beneficios.
<b>¿Representa un canal directo o indirecto para mejorar la capacidad adaptativa?</b>	Directo (gracias a la implementación del programa se realizan prácticas de manejo sustentable de la tierra que apoyan la conservación y uso sostenible de recursos naturales)
<b>¿Está el proyecto principalmente relacionado a desarrollo económico?</b>	No

El proyecto presentado en la región de Arica y Parinacota, se realizó en el área de intervención que comprende las comunas de Putre y General Lagos. Específicamente se intervino el piso ecológico Altiplano, el cual presenta formaciones vegetaciones asociadas al clima Alto Andina-Altiplánica donde se distinguen cuatro formaciones vegetaciones y seis asociaciones vegetales. Las propuestas de manejo agrícola de estas tierras abarcan sectores de especial cuidado, las cuales están asociadas a una necesidad urgente de manejo sostenible que incorpore la gestión de los bofedales, en este caso las zonas de Estepa Húmeda y Queñoales. Estas zonas de vegetación típica altiplánica representan las formaciones con mayor presión de uso y deterioro comunal, donde la actividad productiva principal es la crianza de ganado camélido (MINAGRI & CONAF, 2019).

La problemática de la zona de intervención nace por la conjugación del cambio en las condiciones ambientales, y por los procesos de migración de las comunidades Aymaras. Antiguamente estas comunidades realizaban el manejo



de los bofedales (forraje natural), pero dado que muchos de los integrantes de las Sucesiones de Propietarios Aymaras no tiene residencia en los lugares y poseen diversas formas de organizaciones que los representan, los bofedales dejaron de ser manejados. Esto, provocó que los cursos de agua no fluyeran según los sistemas de riegos ancestrales, y que parte de los bofedales no manejados se terminaran secando, cambiando de vegetación y con el suelo erosionado (MINAGRI & CONAF, 2019). Por otra parte, las formaciones de Queñoales fueron intervenidas dada la escasa o nula regeneración natural causada por presiones como la disminución de precipitaciones y el uso de la vegetación como leña para la calefacción (MINAGRI & CONAF, 2019).

Las zonas priorizadas están circunscritas en la localidad de Parinacota y sus alrededores, junto con la red de bofedales que conforman el sector de Guallatire. En la zona existe deterioro del suelo por efectos de la disminución de precipitaciones en los últimos 10 años, sumado a la erosión por falta de manejo, lo que en conjunto lleva a la pérdida de cobertura vegetal (MINAGRI & CONAF, 2019).

Respecto de la conservación de la biodiversidad en la zona, la pérdida de cobertura vegetal asociada a los bofedales se relaciona directamente con la disminución de la población de la Vicuña, esto, dada la menor disponibilidad del recurso forrajero. Así también, la disminución de ecosistemas de queñoales (*Polylepis sp.*) afecta a las especies que usan específicamente esos hábitats, además de afectar a las cadenas tróficas que se sustentan de estos ecosistemas (MINAGRI & CONAF, 2019).

Dada la raíz del problema presentado en la zona de Putre y General Lagos, el Programa MST propuso una serie de actividades a realizarse durante el proyecto con el fin de combatir la degradación de la tierra, conservar la biodiversidad y proteger sumideros de carbono en el área piloto. Estas actividades podrían ser asociables a intervenciones de Soluciones Basada en la Naturaleza.

Dentro de las actividades listadas en Plan Marco de Gestión Ambiental se encuentran (MINAGRI & CONAF, 2019):

- Restauración y Forestación de Queñoa
- Manejo Sanitario Pecuario
- Recuperación y Mantenimiento Bofedales
- Cerco pastoreo rotativo en bofedal
- Cerco apotreramiento de ganado

- Muretes de piedra para terrazas de cultivo
- Construcción y mejoramiento de pircas
- Establecimiento pradera de Alfalfa
- Aplicación de materia orgánica al suelo (Guano)
- Construcción de invernadero, nave
- Forestación multipropósito
- Cerco vivo
- Infraestructura para riego
- Sistema de riego
- Infraestructura turística
- Construcción de corral para ganado
- Cultivos productivos
- Construcción de gallinero

A partir de las actividades propuestas, algunos de los impactos ambientales positivos que se prevén en la zona son (MINAGRI & CONAF, 2019):

- Aumento de infiltración.
- Aumento disponibilidad de agua superficial por manejo de bofedales.
- Disminución de erosión y sedimentación.
- Retención de suelo, materia orgánica, carbono y nutrientes.
- Restauración del paisaje
- Aumento de biodiversidad
- Modificación transitoria de flora y fauna
- Aumento de la recarga de napas freáticas.
- Leve aumento de las precipitaciones locales por emisión de aerosoles CCN y cambio albedo / balance energía local.
- Aumento de producción no maderera.
- Aumento substitución de combustibles fósiles.
- Aumento de energías renovables no convencionales

Los manejos realizados en las comunas de Putre y General Lagos tiene estrecha relación con las actividades clasificadas en “SbN en paisajes agrícolas” (Miralles-Wilhelm & Iseman, 2021)(ver principio de esta sección). Específicamente se relacionan con la acción de “Restauración de humedales y zonas húmedas” la cual tiene como función la repoblación y replantación de la vegetación de humedales autóctonos para tratar la calidad del agua y mitigar las inundaciones (Miralles-Wilhelm & Iseman, 2021). El caso de Arica y Parinacota se relaciona con esta actividad ya que el fin último es la regeneración de la vegetación en los

bofedales para reestablecer los cursos originales de agua. Por otro lado, también existe relación con la actividad de “Evitar la conversión de bosques y pastizales; reforestación” la cual tiene como función la mejora de las prácticas de gestión forestal para el almacenamiento de carbono y la conservación de la biodiversidad, la tierra y el agua (Miralles-Wilhelm & Iseman, 2021). El caso estudiado se relaciona con esta última actividad dado que tiene como propósito la restauración del ecosistema de queñoales (*Polylepis sp.*), realizando por ejemplo forestación de la especie en la zona.

Al considerar la intervención realizada en la región de Arica y Parinacota en el marco del PMST como una SBN para agricultura, se puede concluir que está relacionada con actividades a escala de paisaje, por lo que finalmente entrega beneficios que favorecerán a la productividad de la agricultura (Miralles-Wilhelm & Iseman, 2021). Por ejemplo, por medio de la restauración de bofedales y la restauración de ecosistemas de queñoales se mejora la calidad y cantidad de agua, la infiltración subterránea, la retención de suelo, materia orgánica, carbono y nutrientes, así como la disminución de erosión y sedimentación. Así también, para cumplir con las acciones a escala de paisaje se realizan actividades como construcción de corrales para ganado o de cercos de apotreramiento, esto permite controlar el ganado doméstico de comunidades Aymaras, evitando la competencia por espacios comunes entre ganado doméstico y poblaciones de vicuña ayudando a la conservación de la biodiversidad en el ecosistema (MINAGRI & CONAF, 2019).

Los beneficios anteriores se relacionan con un aumento de la capacidad adaptativa, logrando una disminución de la vulnerabilidad al cambio climático al permitir que exista una reducción de la superficie expuesta a la sequía, a la erosión y sedimentación causadas por las amenazas de cambios en el clima y cambios en comportamientos humanos. Esta mejora en la capacidad adaptativa, disminuye la sensibilidad ligada a la reducción de rendimientos productivos en zonas agrícolas de las comunas intervenidas por la disminución del recurso hídrico y riesgos de erosión. En general los enfoques alternativos como la adaptación basados en ecosistemas, o Soluciones basados en Naturaleza proveen múltiples co-beneficios considerados como una solución clave para avanzar hacia la adaptación (Miralles-Wilhelm & Iseman, 2021; seddon et al., 2016), presentando un bajo riesgo de mala adaptación.

En la siguiente sección se entrega una selección de indicadores que ayudan a identificar la vulnerabilidad del sistema en el contexto de Soluciones basadas en Naturaleza. Se considera una tabla descriptiva por cada uno de los indicadores.

### 3.5.3.1.1. Indicadores clave considerados

<b>Indicador</b>	<b>Promedio anual del nivel de agua monitoreado en el humedal</b>
Unidad de Medida	<p>cm/año</p> <p>El nivel de agua en humedales se puede medir usando un instrumento llamado regleta (unidad en cm)</p> <p>Cm/año</p>
Descripción	<p>Al medir los niveles de agua en un humedal en forma periódica se obtiene información de los períodos hídricos, frecuencia y duración de inundaciones y la profundidad de agua. El nivel de agua se conoce usando regletas de medición dispuestas en distintos puntos del humedal.</p> <p>Se propone el monitoreo mensual del nivel de agua y de esta información sacar el promedio anual y compararlo con otros años.</p> <p>El monitoreo continuo, protege el humedal y los servicios ecosistémicos asociado.</p> <p>La importancia del monitoreo de los humedales radica en el papel que tienen en suministrar agua, en regular el flujo de los ríos y la mejora en la calidad del agua. Estos son percibidos como un componente vital en el conjunto de SBN. Para Chile representan ecosistema de alta importancia dado que representan cerca del 5,9% del territorio nacional (MMA, 2018).</p>
Nivel de aplicación (nacional,	Local (a nivel de humedal)

sub-nacional, local)	
Relación del indicador con de componentes vulnerabilidad	<p>En la medida que los suelos tienen mayor capacidad de retención hídrica, se favorece la infiltración del recurso a las napas subterráneas, por lo que también aumenta del volumen de agua superficial presente en el bofedal. Esto, es el reflejo de una mejora en la capacidad adaptativa del sistema ya que se incrementa la capacidad de enfrentar y gestionar condiciones adversas como la sequía al aumentar la disponibilidad del recurso hídrico en el área de intervención, donde hay presencia de producción agrícola y por tanto de comunidades dependientes de servicios potenciales del humedal.</p>
Posibles fuentes de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para el caso de estudio específico: Uso de datos de informe bianual sobre cambios en la capacidad de retención de agua en el suelo elaborados en el área piloto para dar seguimiento y evaluación a las intervenciones desarrolladas en el marco del Proyecto MST. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de información por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace: <a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a></li> </ul> </li> <li>- De forma general: Distintos humedales van a tener distintos procesos o estados de desarrollo de conservación. Humedales declarados como protegidos y humedales intervenidos para la agricultura en Chile frecuentemente poseen un registro de monitoreo de los niveles de agua. Humedales que no presentan protección no poseen sistemas de monitoreo.</li> </ul>

<b>Indicador</b>	<b>Riqueza taxonómica de especies en el área a estudiar</b>
Unidad de Medida	Nº de individuos por especie identificada
Descripción	<p>El indicador de biodiversidad permitirá entregar información sobre efectos de la condición climática sobre la biodiversidad</p> <p>En específico este indicador permitirá conocer la evolución en el tiempo de la diversidad presente en la zona a restaurar. Se propone selección de especies clave, un monitoreo estacional acompañado de un diseño adecuado para determinar la riqueza (número de especies distintas) en un área o hábitat en particular.</p>
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Sub-nacional (tipo de ecosistema/hábitat) o local (a nivel de proyecto)
Relación del indicador con componentes de vulnerabilidad	<p>Un sistema degradado pierde su funcionalidad, y la incorporación de SbN a este tipo de sistemas permiten un soporte para los efectos del cambio climático y la biodiversidad (Miralles-Wilhelm &amp; Iseman, 2021). La restauración de los ecosistemas derivada de SbN permite la existencia de vegetación permanente lo que ayuda a aumentar los niveles y estabilidad del carbono, la biodiversidad y por tanto la riqueza de especies. De esta forma se aumentan también los servicios ecosistémicos y co-beneficios que provee como la regulación hídrica, ciclaje de nutrientes y control de erosión (Mant et al., 2014). Un aumento de servicios ecosistémicos se relaciona estrechamente con una disminución de la sensibilidad, lo que se refleja en una mayor resiliencia de los sistemas por efectos del cambio climático (Magrin, 2015)..</p>
Posibles fuentes de datos	Uso de datos e índices presentes en el informe

	<p>anual sobre la dinámica de la biodiversidad en el área intervenida. Informes realizados en área piloto elaborados para dar seguimiento y evaluación a los proyectos desarrollados en el marco del Proyecto MST.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de información por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace:  <a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a></li> </ul>
--	--

<b>Indicador</b>	<b>Porcentaje del área intervenida del total de área degradada que requiere de intervención.</b>
Unidad de Medida	Porcentaje (%)
Descripción	<p>En la medida que se avance en la intervención de la superficie degradada, los benéficos de las actividades de las SbN para cambio climático a escala de paisaje agrícola, serán cada vez mayores. Dentro los benéficos se destaca la resiliencia a los cambios en el clima, aumento de los niveles de carbón y biodiversidad, y de disponibilidad de agua, así como mejoramiento del suelo y de la calidad del aire (Miralles-Wilhelm &amp; Iseman, 2021).</p> <p>El área que requiere intervención hace referencia a la superficie de ecosistemas naturales en los cuales se ha evaluado algún nivel de degradación.</p>
Nivel de aplicación (nacional, sub-nacional, local)	Nacional, sub-nacional (regional, comunal, por tipo de ecosistema) o local (a nivel de proyecto)
Relación del indicador con de componentes de vulnerabilidad	Una mayor cantidad de hectáreas intervenidas para la restauración de humedales y para la conservación bosques genera una mayor cantidad de benéficos ligados (muchas veces

	<p>indirectamente) a la aplicación SbN con enfoque climático en el sector agrícola.</p> <p>Dado que estos benéficos presentan una directa relación en la mejora de la productividad agrícola, se entiende que, al existir una mayor superficie restaurada y bajo manejo sostenible, la capacidad adaptativa del sistema aumenta, lo que finalmente permite una agricultura menos vulnerable al cambio climático.</p>
Posibles fuentes de datos	<p>Uso de fotografías aéreas complementado con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esto puede ser descargado de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Google Engine (<a href="https://earthengine.google.com/">https://earthengine.google.com/</a>)</li> </ul> <p>Informe del Estado del Medio Ambiente. Capítulo 7: Biodiversidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de información específica de superficie de degradación por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace: <a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a></li> </ul> <p>Para el caso puntual del proyecto analizado:</p> <p>Informe semestral sobre avance de actividades. Informes realizados en área piloto elaborados para dar seguimiento y evaluación a los proyectos desarrollados en el marco del Proyecto MST.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solicitud de información por Ley de Transparencia a la CNR (Ley N°20.285), se puede acceder desde el siguiente enlace: <a href="https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058">https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/ingreso-sai-v2?idOrg=1058</a></li> </ul>



### **3.5.4. Vinculación con el Plan Nacional de Adaptación del sector Silvoagropecuario**

Si bien es importante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de cada país en el mundo, Chile es un país que tiene una baja contribución a las emisiones globales de GEI (MMA, 2021). Pero respecto de la vulnerabilidad de país frente al cambio climático, resulta crucial enfocarse en las medidas de adaptación. Al respecto Chile es considerado altamente vulnerable al cambio climático según los criterios de vulnerabilidad presentados en el art. 4.8 de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). El país cumple con 7 de los 9 criterios: cuenta con áreas de borde costero de baja altura; áreas áridas, semiáridas y de bosques; susceptibilidad a desastres naturales; áreas propensas a sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y ecosistemas montañosos como las cordilleras de la Costa y de los Andes (CMNUCC, 1992 citado en MMA, 2021). Los impactos derivados del cambio climático afectan el ecosistema y a la sociedad a lo largo de todo el territorio, y de forma transversal se ven afectados los sectores productivos fundamentales del país, entre ellos el sector silvoagropecuario (MMA, 2021).

Para disminuir la vulnerabilidad de país frente a los impactos del cambio climático, se implementan medidas de adaptación. Estas deben ir acompañadas de una evaluación periódica en el tiempo que permitan monitorear el estado de avance de las medidas adoptadas, y así conocer su efectividad (MMA, 2020). En la sección anterior de este informe se presentaron tres estudios de caso, los cuales representan acciones para la adaptación al cambio climático bajo tres tipologías distintas: infraestructura gris (a nivel de cuenca) y recarga de acuíferos; tecnología de riego e infraestructura; soluciones basadas en la naturaleza. Para cada caso estudiado se presentaron indicadores que permiten monitorear si se está logrando mejorar o no la vulnerabilidad al adoptar la medida de acción.

Los casos de estudio presentados junto con sus indicadores tienen una estrecha relación con el actual proceso de toma de decisiones que se está abordando en el país.

Dentro de los instrumentos de políticas públicas de cambio climático, Chile cuenta actualmente con un Plan de Acción Nacional sobre Cambio Climático (PANCC II 2017-2022), el cual articula todos los programas y acciones de cambio climático del sector público, y es considerado un eje de adaptación (MMA, 2017 citado en

MMA, 2021). Además, Chile posee un Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (NAP 2014), y planes sectoriales de adaptación que se comenzaron a desarrollar desde el 2013. Actualmente existen ocho planes sectoriales que se están implementando en el país (MMA, 2021).

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático Sector Silvoagropecuario (PNACC SAP) es un instrumento que determina la estructura institucional nacional respecto a las acciones de adaptación (ODEPA, s.f). Actualmente se encuentra disponible el PNACC SAP que en 2013 elaboró MINAGRI, donde se definieron 21 medida centradas en la gestión de agua, investigación, información y creación de capacidades, gestión de riesgos y seguros agrícolas, y gestión forestal (ODEPA, s.f). Dicho Plan termino su ejecución en el año 2018.

Además, es importante mencionar que la actual Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) establece que el 2022 debe existir una actualización y posterior implementación del Plan Nacional de Adaptación, así como de los planes sectoriales correspondientes. Por lo tanto, actualmente el PNACC SAP se encuentra en actualización gracias al apoyo del Fondo Verde del Clima (FVC) y a la asociación con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) que actúa como agencia implementadora (ODEPA, s.f). Las medidas que se ejecutarán y priorizarán en el nuevo Plan que está actualmente en curso no necesariamente corresponderán a las abordada en el antiguo PNACC SAP.

Por tanto, los lineamiento y medidas del PNACC SAP (instrumento nacional sectorial que guía las acciones de adaptación), pueden vincularse directamente con los proyectos de adaptación analizados en los estudios de caso de este informe.

Respecto del caso "Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos" que fue analizado en el marco de "Infraestructura gris (a escala de cuenca) y recarga de acuíferos" se considera que la creación de dicho marco operativo está relacionada al lineamiento ministerial que promueve mejorar la competitividad de la agricultura por medio de la Medida N°1, la cual tiene por objetivo "contribuir a la planificación de los recursos hídricos a nivel nacional a través del desarrollo de políticas, estudios, programas y/ acciones que permitan mejorar el uso del agua, asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada así como al mejoramiento de la competitividad de los agricultores/as y las Organizaciones de Regantes" (MINAGRI & MMA, 2013).

El segundo caso estudiado fue el “Programa de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje - Ley N° 18.450 (Obras menores y medianas)” el cual fue analizado en el marco de “Tecnología de riego e infraestructura”. Si bien esta es una ley que inició en 1985 (que no posee consideraciones de la actual crisis climática), se crearon indicadores que permiten conocer si por medio de la ejecución de esta Ley se está o no disminuyendo la vulnerabilidad al cambio climático en el aspecto estudiado. La construcción de obras de riego en el marco de dicho Programa está estrechamente relacionado al lineamiento ministerial que promueve mejorar la competitividad de la agricultura por medio de la Medida N°2, la cual tiene por objetivo optimizar el uso de agua a nivel predial a través de una intensiva acción de mejoramiento tecnológico y procedimientos de gestión del recurso. Así, también está relacionado a la Medida N°3, que tiene por objetivo “incrementar la productividad y competitividad en la Agricultura Familiar campesina a través de la incorporación de nuevas áreas de riego y del desarrollo de capacidades en la gestión y utilización del agua de riego (MINAGRI & MMA, 2013).

**Tabla 10. Síntesis de la relación de los estudios de caso analizados con las medidas establecidas en el PNACC SAP. Fuente: elaboración propia**

<b>Marco estudiado</b>	Infraestructura gris (a escala de cuenca) y recarga de acuíferos	Tecnología de riego e infraestructura	Soluciones basadas en Naturaleza
<b>Estudio de caso analizado</b>	Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos	Programa de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje - Ley N° 18.450 (Obras menores y medianas)	Proyecto Manejo Sustentable de la Tierra (PMST), proyecto Putre y General Lagos, Región de Arica y Parinacota
<b>Relación con Lineamiento Ministerial</b>	Mejorar la competitividad de la Agricultura	Mejorar la competitividad de la Agricultura	Promover la sustentabilidad económica, social y ambiental
<b>Relación con medida PNACC SAP</b>	Medida N°1	Medida N°2 y N°3	Medida N°13

Finalmente, el último caso estudiado fue el “Proyecto Manejo Sustentable de la Tierra (PMST), proyecto Putre y General Lagos, Región de Arica y Parinacota”, este fue analizado en el marco de “Soluciones basadas en Naturaleza”. Si bien es cierto que el PMST no se planteó originalmente con el objetivo de actuar como una SbN

para el sector agrícola, la mayoría de sus acciones se consideran como medidas de mitigación y adaptación climática, y en específico el plan llevado a cabo en Putre y General Lago es un proyecto que abarca el territorio con una visión integrada y transversal que se relaciona con la agricultura. De esta forma, la implementación de dicho plan piloto, se relaciona con el lineamiento que promueve la sustentabilidad económica social y ambiental del PNACC SAP. Específicamente, no se relaciona con una medida puntual del Plan, pero se asemeja a la Medida N° 13 que tiene por objetivo Priorizar los incentivos del Programa de Sistemas de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (ex SIRSD) (MINAGRI & MMA, 2013).

Adicionalmente, el PMST contribuye a la estrategia nacional para abordar la desertificación y la sequía en Chile mediante el desarrollo de una gobernanza que articula distintos actores del sector público, comunidades indígenas y locales, y a la sociedad civil. Esta gobernanza ha permitido que los distintos instrumentos del Ministerio de Agricultura incluidos el Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PANCD-Chile) puedan contribuir directamente al PMST. Así también, se hace necesario enfatizar que el PANCD-Chile es parte integrante de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetaciones (ENCCRV) que lidera CONAF (MINAGRI & CONAF, 2019).

### **3.6. Conclusiones**

Con el objetivo de apoyar la toma de decisiones en el sector agrícola para la adaptación al cambio climático, en este informe se consideraron tres etapas del proceso de toma de decisiones en la adaptación al cambio climático; la identificación y la evaluación de las opciones de adaptaciones, y el monitoreo y evaluación de las acciones una vez que ya ejecutadas las medidas. En este proceso, es importante la utilización de indicadores claves adecuados que faciliten el proceso de cada etapa para la toma de decisiones, es por esto que en el informe se propusieron indicadores tanto para la identificación y evaluación de opciones de adaptación por medio de un análisis multi-criterio, como un set de indicadores para el monitoreo y evaluación del proceso de adaptación bajo tres casos de estudio específicos.

Se plantearon indicadores para la priorización de adaptación al cambio climático por medio de un análisis de decisión multi-criterio. Si bien el informe no entrega información específica sobre cómo implementar el análisis de decisión multi-criterio, se entregan los lineamientos que permitirán generar dicho análisis en el

futuro usando los criterios e indicadores propuestos para la priorización de medidas de adaptación en el sector agrícola. Generar la metodología de implementación del análisis de decisión requiere de tiempo ya que es relevante realizar un proceso participativo con expertos de cada uno de los sectores y/o regiones donde se vaya a aplicar el proceso.

El informe entrega información de un marco general sobre sistemas de monitoreo y evaluación en los procesos de adaptación centrado e indicadores usados internacionalmente. Por medio de la revisión bibliográfica de cuatro documentos distintos que describen diferentes formas de utilización de los indicadores de M&E, se analiza el bajo consenso que existe en el uso de marcos metodológicos que guíen el proceso de monitoreo y evaluación en la adaptación al cambio climático a nivel nacional y sub-nacional. Los indicadores entregados en la revisión bibliográfica internacional entregan un contexto de la forma en la que se monitorea y evalúa la adaptación en el sector agrícola, la cual es muy dependiente del marco metodológico utilizado.

La revisión internacional de indicadores se utilizó como guía para la creación de índices que midan vulnerabilidad en los estudios de caso analizados en este informe: Infraestructura gris (a nivel de cuenca) y recarga de acuíferos; Tecnología de riego e infraestructura; y Soluciones basadas en Naturaleza. Los indicadores fueron construidos considerando la capacidad de evaluar el aumento de la capacidad adaptativa o la disminución de la sensibilidad dentro del sistema. Además, se consideraron los casos en que por medio de la implementación de las medidas analizadas se podría generar una mala adaptación, y se destaca la importancia de tener en consideración las proyecciones climáticas sobre todo en indicadores relacionados al recurso hídrico. El set de indicadores para cada caso estudiado pretende medir el proceso de adaptación de la agricultura en Chile, es decir mediante su utilización se aspira a conocer si el proceso de adaptación está avanzando, de esta forma determinar si la estrategia de adaptación o inversión está cumpliendo sus objetivos facilitando la toma de decisiones en este ámbito. El set de indicadores también ayudará a identificar opciones de M&E que permitan orientar y medir la implementación de las medidas del nuevo PNACC SAP que se está elaborando actualmente.

Es importante destacar que los indicadores propuestos para cada caso estudiado no son capaces de medir en plenitud el proceso de adaptación en el país, para esto se requiere la utilización de un repositorio más amplio de indicadores que abarquen sectores de la agricultura que no fueron considerados en el informe.

Para complementar este proceso de búsqueda de otros indicadores apropiados, es que se presentó la Base de datos de Indicadores Internacionales (formato plantilla Excel). Además, se recomienda que los nuevos indicadores sean formulados de acuerdo a los criterios priorizados desde el proceso participativo, según la metodología multicriterio presentada en este informe.

Por último, se correlacionó cada uno de los casos de estudio con los lineamientos y con una medida específica del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario. Esto sirve como pauta, para identificar como los indicadores propuestos dentro de los casos de estudio se relacionan con un instrumento que guía las acciones de adaptación en el sector agrícola en Chile.

## 4. MITIGACIÓN

En una primera sección se realiza una revisión de distintos estudios que analizan de los compromisos en las NDC respecto a Agricultura para la región de Latinoamérica y SEECA (por sus siglas en inglés, Europa del Sur, Europa del Este y Asia Central), con el objetivo de tener un panorama general de los actuales compromisos internacionales, principales acciones, medidas o políticas en desarrollo para la reducción de emisiones de GEI.

En una segunda sección se realiza una revisión de distintas NDC a nivel internacional y su compromiso o aporte asociado al sector agricultura, con el objetivo de identificar vías de reducción factibles y viables aplicado al contexto de Chile.

Para un mejor entendimiento de la nomenclatura utilizada en las próximas secciones, es relevante especificar y definir las distintas categorías de emisiones que componen las emisiones del Sector Agricultura, basados en las directrices metodológicas del IPCC 2006 (IPCC, 2006), como marco común para todos los países que forman parte y reportan sus emisiones bajo la CMNUCC<sup>10</sup>. Las emisiones del sector Agricultura, forman parte de las emisiones de la Categoría AFOLU, (por sus siglas en inglés, que corresponde a Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra), conformado por 3 grandes subgrupos, 3.A, Ganado, 3.B Tierras y 3.C Fuentes agregadas y fuentes de no-CO2 de la tierra.

En general, los países en sus inventarios nacionales de GEI dividen las emisiones en emisiones del Sector Agricultura y UTCUTS (Usos de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura). A continuación, se detalla las categorías de emisiones asociadas al Sector Agricultura

- Sector Agricultura:
  - 3.A Ganado
    - 3.A.1 Fermentación Entérica
    - 3.A.2 Gestión del Estiércol
  - 3.C Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO2 de la tierra
    - 3.C.1d Emisiones de GEI por quemado de biomasa (en tierras de cultivos)
    - 3.C.2 Encalado

---

<sup>10</sup> Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, conformada por 192 partes

- 3.C.3 Aplicación de Urea
- 3.C.4 y 3.C.5 Suelos Agrícolas (o gestionados): Emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O
- 3.C.7 Cultivo de Arroz

Para mayor detalle, una descripción de cada una de las Subcategorías se describe en el Anexo 6.1

#### 4.1. Análisis Regional para Latinoamérica y SECCA en agricultura y uso de suelos.

Se han revisado dos de los análisis de las distintas NDC a nivel de "regiones" para evaluar los compromisos actuales e identificar brechas y oportunidades en los sectores agricultura y uso de la tierra, desarrollado por la FAO. La nomenclatura utilizada para la clasificación de políticas o medidas en los sectores Agricultura y Uso de Suelos utilizadas por la FAO, se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11 Clasificación de tipo de actividad de uso de la tierra y gestión agrícola (FAO, 2018a).

Categoría	Actividad incluidas
Cultivo o pradera	Gestión general de cultivos, Gestión general de Praderas, Gestión de plantas, Gestión del arroz, Gestión de nutrientes, Gestión de labranza / residuos, Gestión de incendios, Riego y drenaje, Uso sostenible del agua, Gestión animal
Ganado	Gestión ganadera general, Alimentación, Cría y mantenimiento de animales y Gestión del estiércol
Sistemas integrados	Agroforestería y Otros sistemas de producción de biomasa mixta
Agricultura general	Gestión agrícola general, Prácticas de agricultura sostenible
Bioenergía de la agricultura	Producción general de bioenergía, Producción de biocombustible líquido, Producción de biogás

La estructura de los reportes de análisis regional de NDC's se dividen los siguientes en 6 capítulos:

- **Capítulo 1:** Describe las circunstancias de la Región.
- **Capítulo 2:** Provee una revisión de las tendencias de emisiones, vulnerabilidades climáticas, capacidades adaptativas y en cuanto a sus resultados de nutrición.
- **Capítulo 3:** Síntesis y análisis de las NDC en AFOLU para mitigación y



adaptación, y una sección final que analiza las barreras y apoyos necesitados.

- **Capítulo 4:** Describe los resultados sobre brechas y oportunidades para mejorar la ambición en el sector AFOLU.
- **Capítulo 5:** Evalúa las oportunidades para aprovechar las sinergias de adaptación y mitigación con el desarrollo sostenible.
- **Capítulo 6:** Recomendaciones y mensajes claves.

Se rescatan las principales experiencias asociadas a los cifras, compromiso y medidas de mitigación, detallado en las siguientes secciones.

#### **4.1.1. Análisis regional de las NDC en América Latina: brechas y oportunidades en los sectores de agricultura y uso de la tierra. (FAO, 2020)**

El reporte entrega un análisis regional de las NDC<sup>11</sup> en Latinoamérica, que incluye América Central y Sudamérica, en total 20 países, incluyendo Chile, a través síntesis específica del sector AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Uses, por sus siglas en inglés).

Del documento, es relevante destacar las cifras en agricultura para Latinoamérica. Las emisiones del Sector Agricultura 23% de las emisiones totales corresponden a lo que entendemos por Sector Agricultura (asociado a ganado y cultivos), esta cifra es de un 26% para el caso de Sudamérica y 15% para Centroamérica.

Según las estimaciones de emisiones para la región, la fuente más relevante corresponde a "Fermentación entérica" representando un 60% de las emisiones del sector seguido por "Suelos agrícolas o Gestionados" con una proporción del 30%. Luego sigue la categoría "Gestión del Estiércol" con un aporte del 6%, un 2% proviene del "Cultivo de Arroz" y en menor proporción "Quema de Biomasa" con un aporte del 2%, tal como se puede ver en Figura 7.

---

<sup>11</sup> Comprendidas en el periodo 2009-2015

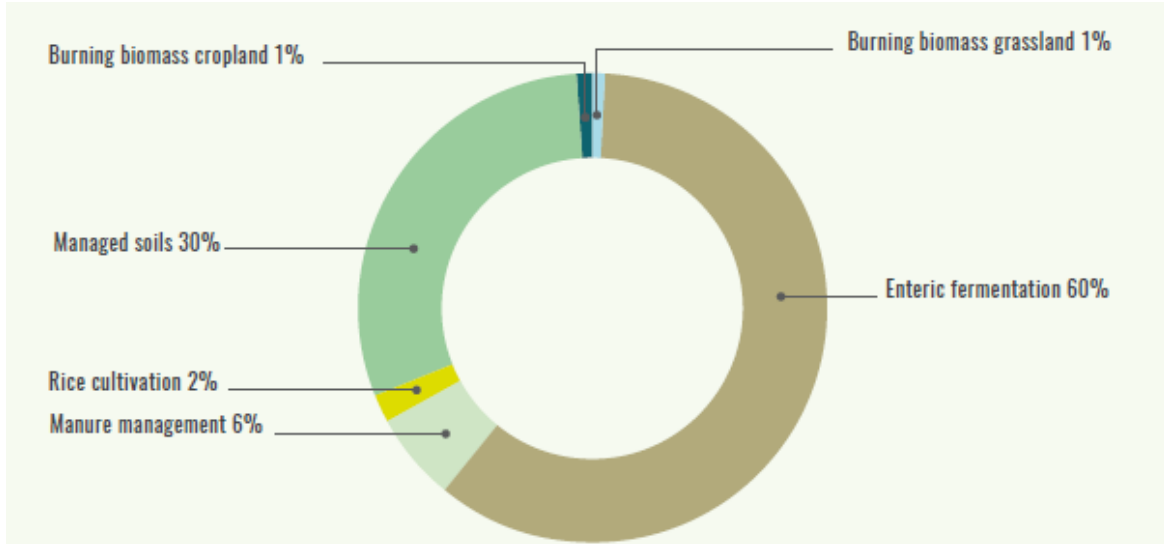


Figura 7 Distribución de emisiones del Sector Agricultura para Latinoamérica (FAO, 2020) .

En términos de mitigación en Agricultura, un 80% de los países mencionan contribución, de los cuales un 40% incluye medidas y/o políticas específicas para el sector, de estos un 65% presenta un objetivo de reducción y un 35% menciona su contribución en términos de “solo-acción”.

De las categorías de medidas o políticas que más se incluyen a lo largo de todas las NDC, se destacan con mayor frecuencia aquellas medidas tienen que ver con Tierras de Cultivo(31%), que corresponden a aquellas relacionadas con el manejo de plantas, manejo de cultivos, labranza y residuos, manejo de la nutrición de cultivos y manejo de cultivo de arroz. La segunda categoría de medidas que se destacan en el sector corresponde a aquellas medidas de sistemas integrados (31% de las NDC´s, 43% Centroamérica y 22% Sudamérica), que se enfocan principalmente en Sistemas de Agroforestería y Sistemas de Producción Mixta.

Con relación a la categoría de medidas de Praderas y Humedales y Suelos orgánicos, ambos se incluyen en un 25% de las NDC de Latinoamérica. Las medidas asociadas a Praderas presentadas, se destaca principalmente la restauración de praderas degradadas, transición a sistemas semi-intensivos en ganadería, respecto a las medidas asociadas a Humedales y Suelos Orgánicos. en general, se promueve el manejo de humedales, rehumedecer suelos orgánicos drenados para agricultura, entre otros.

Aproximadamente un 19% de los países incluyen al menos una medida asociada a la promoción de la bioenergía desde residuos de la agricultura, entre ellas la

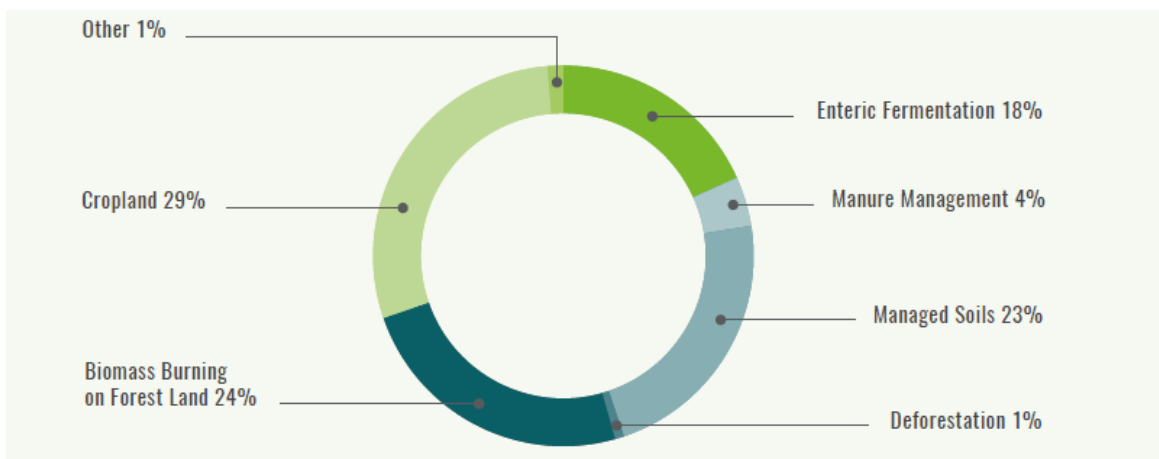
producción de energía a partir de residuos de la industria maderera, producción de biogás, sustitución de combustible fósil por biocombustibles líquidos a partir de biomasa, entre otros. Finalmente, solo un 13% de los países incluyen políticas asociadas al subsector ganadería, asociado principalmente al manejo del estiércol y mejoras en la cría (mejoras en rendimientos).

Es relevante mencionar que 7 de los 20 países analizados, han actualizado sus NDC's para el 2020-2021, por lo que se estima que en general los países han aumentado su ambición en políticas climáticas.

#### **4.1.2. Análisis regional de las NDC de los países del sur de Europa, Europa del este y Asia central: brechas y oportunidades en los sectores de agricultura y uso de la tierra (FAO, 2018a)**

El reporte entrega un análisis regional específica del sector AFOLU de las NDC de la región SEECA (Europa del Sur, Europa del Este y Asia Central, por sus siglas en inglés), que incluye el análisis de 14 países, conformado por regiones geográficas, que incluye a Europa del Sur, (incluye a los países Albania, Bosnia y Herzegovina, Montenegro, Serbia y la exrepública Yugoslava de Macedonia), Europa del Este (incluye los países de Bielorrusia, República de Moldova, Federación de Rusia y Ucrania), y Asia Central (que incluye los países de Kazajstán, Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán).

Las emisiones del Sector Agricultura para la región SEECA, corresponden a un 7% de lo que entendemos por Sector Agricultura (asociado a ganado y cultivos). Según las estimaciones de emisiones para la región, la fuente más relevante corresponde a "Suelos Manejados" representando un 50% de las emisiones del sector (corresponde a las emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O, encalado, y aplicación de urea), seguido de la categoría "Fermentación entérica" con una participación del 41% y finalmente un 9% de Manejo del estiércol, tal como se puede ver en la Figura 8.



**Figura 8 Distribución de emisiones del Sector Agricultura para la Región SEECA (FAO, 2018a)**

En términos de mitigación un 79% de los países (11) mencionan el sector agrícola en su contribución general a la mitigación, y sólo un país expresa su contribución como una reducción absoluta. Alrededor de tres cuartos de estas reducciones están condicionadas a una combinación de apoyo de financiamiento doméstico u internacional.

El 43% de los países incluye al menos una política o medida de mitigación para el sector, y se destaca que un 29% presenta medidas asociados a la "Ganadería", asociado a mejores prácticas en alimentación, mejoras en el manejo de estiércol y manejo de crías (breeding), seguido por la categoría de medidas "Gestión general de Tierras de Cultivo", un 25% de estos países presentan medidas asociados, donde se destaca el manejo de nutrientes (43%), labranza y manejo de residuos (29%) y gestión general de tierras de cultivos (28%). Como tercera categoría relevante, un 14% prioriza la producción de bioenergía desde biomasa agrícola como medida de mitigación, y un 14% prioriza la categoría de medida "Gestión integrada de Sistemas" referido principalmente a sistemas agroforestales. Finalmente, las medidas bajo la categoría "Manejo de Praderas" y "Gestión de Tierras Agrícolas", solo un 14% presenta medidas asociadas, principalmente a mejor manejo de los animales mediante la alteración de la intensidad y el momento del pastoreo, y mitigación general relacionada con la tierra agrícola respectivamente.

Es relevante mencionar que el estudio analiza las NDC presentadas el año 2015, y aquellos documentos oficiales disponibles como sus Reportes Bianuales de Actualización (BUR, por sus siglas en inglés), por lo que, en la mayoría de estos países, se ha presentado una actualización de sus NDC's, presentando una meta

más ambiciosa.

#### **4.1.3. Experiencias relevantes de interés para Chile**

Para el caso de Latinoamérica, las categorías de medidas que se incluye de manera reiterada a lo largo de distintos países (31%), tienen relación a mejoras en el manejo de cultivos, labranza y residuos, lo que se traduce en, una mejora en la eficiencia en el uso de recursos (menor uso de fertilizantes y de los aportes de nitrógeno de rastrojos). Si bien, las emisiones provenientes de la categoría Fermentación entérica para Latinoamérica prevalece por sobre las otras categorías, es interesante que solo un 13% incluye políticas o medidas de reducción en el subsector ganadería, que se enfocan principalmente en el manejo de estiércol y mejoras en la genética o cría, apostando una reducción en la intensidad de emisiones por mejoras en los rendimientos. Es de interés para Chile buscar distintas opciones que apunten a mejorar la productividad del rubro, aportando en una disminución de la intensidad de emisiones.

Aproximadamente un 25% de los países presentaron medidas asociadas a praderas, bajo la restauración de praderas. En Chile, esta medida ha sido poco o escasamente analizadas, por lo que se sugiere poner mayor atención de las vías de integración como medida posible.

A diferencia de Latinoamérica, que alrededor de 23% de las emisiones totales provienen del Sector Agricultura, las emisiones para Región SEEC son proporcionalmente mucho menores, representando solo un 7% de las emisiones total. La categoría que aporta mayoritariamente en emisiones es "Suelos Agrícolas", y la mayoría de las medidas incluidas en las NDC's corresponden a reducción de emisiones en la ganadería, a través de mejoras en el manejo de estiércol, mejores prácticas en la alimentación, y mejoras en la eficiencia productiva del ganado.

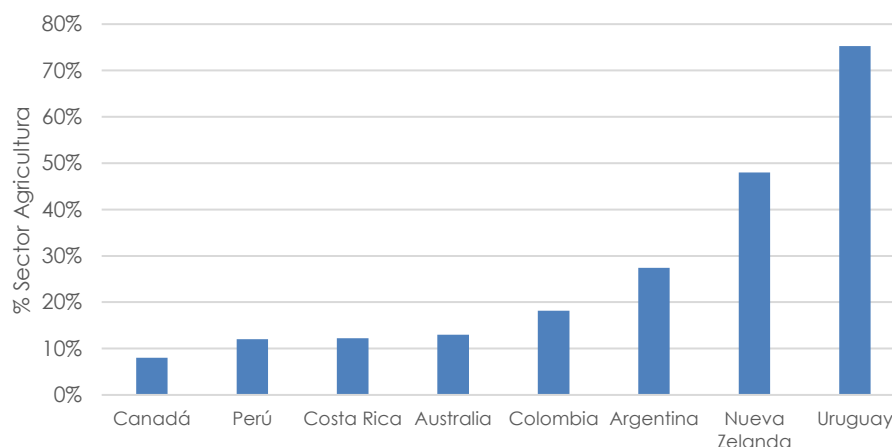
Actualmente en Chile, fuera de las medidas de la implementación de Biodigestores para el manejo de Purines porcinos, no presenta otras acciones que busquen reducir la intensidad de emisiones a nivel nacional, como también alternativas en las mejores prácticas en la alimentación. Se recomienda profundizar en el análisis de dichas medidas en Chile.

## 4.2.Revisión de compromisos de mitigación en Agricultura en NDC's internacionales.

En la siguiente sección se describe de manera general el compromiso de reducción de la última actualización de las NDC's de diversos países, y se realiza un análisis de aquellas medidas de potencial interés para el caso de Chile, del cual se seleccionarán aquellas para realizar un análisis profundo de medios de implementación y su viabilidad en el contexto nacional.

Para el análisis de revisión de NDC internacionales, se seleccionaron aquellos países en el que la agricultura representa una actividad relevante, que hayan presentado una NDC actualizada en el último periodo (2020-2021), y que en lo posible presenten características de sistemas productivos similares al contexto nacional. Los países revisados a la fecha son; Argentina, Canadá, Colombia, Nueva Zelanda, Perú, Australia, Uruguay y Costa Rica.

Para cada uno de los países mencionados, se realizó una revisión de su compromiso general de reducciones a través de su NDC, y posibles compromiso de reducción asociado al Sector Agricultura, se revisó el nivel de participación de las emisiones del sector, es decir, la contribución relativa al total de emisiones a nivel nacional, con el objetivo de entender la importancia relativa que tendrá para las naciones.



**Figura 9 % de Participación de emisiones del Sector Agricultura del total Nacional de países analizados (Elaboración Propia)**

### 4.2.1. Argentina

Argentina presentó su NDC actualizada en diciembre del 2020, anunciando un compromiso de mitigación al de 359 MMtCO<sub>2</sub>eq al 2030 (emisión netas), aplicable a todos los sectores de la economía<sup>12</sup>. Actualmente las emisiones del Sector Agricultura representan un 27.4% (aproximadamente 99.8 MtCO<sub>2</sub>eq), de este, un 21% corresponde a la subcategoría Ganadería (a nivel nacional). Para el 2030, se prevé un aumento de las emisiones asociadas a la ganadería y un aumento de utilización de fertilizantes, por un aumento de la producción y mejoras en los rendimientos de los cultivos, manteniendo la superficie cultivada, disminuyendo la intensidad de emisiones por producto, es decir, se espera que aumenten los rendimientos bajo la misma superficie cultivada y masa ganadera (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Actualmente, el país se encuentra elaborando la “Estrategia Climática de Largo Plazo”<sup>13</sup>, y un “Plan Nacional de Mitigación”. El sitio oficial Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, menciona que es posible reducir emisiones para el sector mediante cambios en hábitos de labranza, reutilización de subproductos y desperdicios de cosechas, como también un adecuado uso eficiente del fertilizante y empleo de mejores tecnologías, sin embargo, estos no han sido incorporado dentro de documentos oficiales como medidas de mitigación a implementar.

Argentina cuenta con un Plan de Acción Nacional de Agro y Cambio Climático (2019), el cual menciona una potencial reducción de emisiones del sector de 25.74 MtCO<sub>2</sub>e para el año 2030, considerando dicha meta de reducción establecida en el marco de su compromiso de la NDC anterior. Las medidas de mitigación mencionadas son las siguientes:

**Tabla 12 Principales medidas previstas para el sector Agricultura, Ganadería y Silvicultura al 2030 (Fuente: (Dirección Nacional de Cambio Climático, 2019))**

Subcategoría	Medida	Descripción	Reducción estimada (MtCO <sub>2</sub> e)
--------------	--------	-------------	--

<sup>12</sup> Estimación referencial del último año estimado, 364.4 MtCO<sub>2</sub>e, para el año 2016.

<sup>13</sup> <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/estrategia-2050>

Silvicultura	Forestación	Aumentar la superficie forestada de 1.38 millones a 2 millones de hectáreas entre 2018 y 2030.	18.06
Agricultura	Rotación de Cultivos	Aumento de la superficie cultivada con cereales (trigo, maíz) y disminución de la superficie ocupada con oleaginosas (soja, girasol), respecto a la proporción de cultivos de la campaña 2011, a partir de 2020.	4.27
Agro energía	Aprovechamiento de biomasa para la generación de Energía	Generación de electricidad NO conectada a red mediante uso de biomasa (PROBIOMASA).	3.41

Respecto a la medida de mitigación "Rotación de cultivos", que podría ser de potencial interés para el análisis de opciones futuras de mitigación en Chile, consiste en pasar de un 28% (para el año 2011) a un 48% de la superficie cultivada con gramíneas, influyendo en la generación de residuos de cosecha y consumo de fertilizantes (Dirección Nacional de Cambio Climático, 2019).

#### 4.2.2. Canadá

Canadá actualizó su NDC el presente año, estableciendo una meta de reducción de un 40% - 45% bajo los niveles del 2005, para el 2030 aplicable a todos los sectores de la economía, excluyendo al sector UTCUTS (Government of Canada, 2021). Actualmente las emisiones del Sector Agricultura representan un 8% de las emisiones totales a nivel nacional, un 81% corresponden a la categoría "Fermentación Entérica" y "Suelos Agrícolas" (40.6% cada una), seguido por las emisiones de "Gestión del Estiércol" con una participación del 13.38% (Environment and Climate Change Canada, 2021).

En su NDC, establece un compromiso específico para el sector, mediante la reducción de 30% en el uso de fertilizantes por debajo de los niveles de 2020 para 2030, como se describe en la Tabla 13.



Tabla 13 Medidas para el sector Agricultura en Canadá (Government of Canada, 2021)

Subcategoría	Medida	Descripción	Reducción estimada (MtCO <sub>2</sub> e)
Agricultura	Reducción Uso Fertilizante	Reducción de un 30% del uso de fertilizante por debajo de los niveles de 2020 para 2030.	27

Canadá ha desarrollado un plan Climático reforzado llamado “A healthy environment and a healthy economy” (Environment and Climate Change Canada, 2020), que establece una propuesta para el crecimiento económico sano en base a la acción climática y el crecimiento limpio. Se menciona financiamiento y medidas tentativas para avanzar en la descarbonización asociado al Sector Agricultura, incluido bajo distintos pilares fundamentales:

Pilar “Construyendo ventaja industrial limpia”:

- Incluir proyectos voluntarios del sector agricultura en Sistema Federal de compensación de GEI, creando incentivos adicionales para la reducción de emisiones del sector.
- Reducción de los niveles de fertilizantes en un 30% por debajo de los niveles de 2020 para 2030.
- Inversión de CAD\$165.7 M durante 7 años, para apoyar a la industria agrícola en el desarrollo de tecnologías limpias.
- Acciones provinciales y territoriales a través de la Asociación Agrícola Canadiense, impulsando la agricultura climáticamente inteligente relacionados con cultivos y ganadería.
- Fomento de la diversificación de materias primas para biocombustibles (bajo el Fondo Low-carbon and Zero-emissions Fuels)
- Apoyo de \$CAD750 MM, para continuar con “Sustainable Development Technology Canada”, dentro del cual se enmarca la propuesta de explorar oportunidades para apoyar a investigadores y desarrolladores, tecnologías limpiar de vanguardia, tal como agricultura de precisión, entre otros.

Pilar “Abrazar el poder de la naturaleza para apoyar a familias más saludables y comunidades más resilientes”

- Inversión de \$CAD631M en los próximos 10 años, para la restauración y mejora de humedales, turberas, pastizales y tierras agrícolas para impulsar

el secuestro de carbono.

- Proveer \$CAD98.4 M para establecer un “Fondo para Soluciones Climáticas Naturales para la Agricultura”

Si bien, gran parte de las acciones propuestas provienen de políticas y programas ya existentes, en el presente documento presenta una propuesta adicional a dichos planes para avanzar en acción climática. Se identifica una baja propuesta de reducción para las emisiones asociadas a la ganadería, sin embargo, se mencionan esfuerzos en mejoras de la eficiencia de la ganadería.

Es relevante mencionar que muchas de las medidas antes mencionadas no reducen de manera directa a las emisiones del Sector Agricultura, si no bajo un enfoque integrado de la cadena productiva. Acciones tal como “Agricultural Clean Technology program”, presenta un fuerte énfasis en el fomento de la eficiencia energética de procesos de la agroindustria, como también el fomento al desarrollo de bio-productos a partir de desechos, tal como biocombustible o biomateriales, lo que implica que la reducción de emisión en términos de contabilidad ocurre en otro sector. Por otro lado, se refleja una incorporación de Soluciones Basadas en la Naturaleza como acción de reducción de emisiones, reflejadas en la propuesta de creación de un “Fondo para las soluciones Climáticas Naturales para la Agricultura”, y “Restauración de pastizales y tierras agrícolas”.

### **4.2.3. Colombia**

Colombia actualizó su NDC el año 2020, estableciendo una meta absoluta de reducción para el 2030, adquiriendo el compromiso de 169.44 MtCO<sub>2</sub>e (Economy-wide), incluyendo las emisiones del sector UTCUTS<sup>14</sup>, equivalente a una reducción de 51% de las emisiones de respecto a la proyección en 2030 en el escenario de referencia (Gobierno de Colombia, 2020). Las emisiones del Sector Agricultura representan un 18,21% de las emisiones totales a nivel nacional, del cual un 47.8% corresponde a emisiones “Fermentación Entérica”, seguido por “Suelos Agrícolas” 42.5%, y luego las emisiones de “Gestión del Estiércol” con una participación del 5.1% (IDEAM et al., 2018).

En el año 2014, el gobierno de Colombia publicó el primer “Plan de Acción Sectorial de mitigación de gases efecto invernadero Agropecuario”, bajo la

---

<sup>14</sup> Emisiones para el último año que posee inventario (2014), corresponden a 236, 973 M tCO<sub>2</sub>q.

“Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono” con el objetivo de mejorar la eficiencia productiva del sector agropecuario e incluso disminuir los costos de producción, acompañados de una menor huella contribuyendo a limitar el calentamiento global. El plan presenta dos líneas estratégicas de trabajo, (1) Implementación e Intensificación Sostenible, enfocado principalmente en capacitación, extensión y transferencia tecnológica a agricultores, e (2) innovación y desarrollo, orientado a la generación de conocimiento en contexto de mitigación (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014). Actualmente, el Gobierno de Colombia ha desarrollado el “Plan Integral de Gestión de Cambio Climático para el Sector Agropecuario” <sup>15</sup>, sin embargo, aún no se encuentra disponible al público. Según el BUR-2018 (por sus siglas en inglés) presentado por Colombia, el objetivo es identificar, articular y orientar la implementación de las medidas que este sector debe desarrollar para mitigar la generación de gases de efecto invernadero (GEI) y reducir su vulnerabilidad frente al cambio climático. En este plan se incluiría en mayor detalle las líneas estratégicas para alcanzar los objetivos propuestos para el Sector Agricultura (IDEAM et al., 2018).

**Tabla 14 Medidas de mitigación establecidas en la NDC del Sector Agricultura para Colombia**

Subcategoría	Medida	Descripción	Reducción estimada (MtCO <sub>2</sub> e)
Ganadería	NAMA de ganadería bovina sostenible	Ordenamiento Ambiental y productivo a nivel regional, intensificando la producción ganadera, mediante la implementación de sistemas silvopastoriles intensivos y no intensivos, así como manejo sostenible de los ecosistemas para aumentar la eficiencia, promoviendo la conservación y/o restauración de ecosistemas.	11,15 (por concepto de restauración)

<sup>15</sup> <https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/es/c/1424731/>

Agrícola, ganadero y forestal	Estrategias de reducción de emisiones de GEI en el ciclo de vida de la producción de cacao	Aumento superficie bajo sistemas agroforestales, así como la renovación y rehabilitación. 150.000 ha en SAF con maderables.	0.165
Agricultura	Reducción de emisiones de GEI en producción de arroz a través de la adopción masiva de tecnología	Adopción masiva de tecnología (AMTEC 2.0) para la producción de arroz	0.08
Agricultura-Forestal	NAMA Café de Colombia.	Implementación de sistemas Agroforestales, entre otras medidas para el café	0.285 AFOLU 0.005 + 0.08 Energía 4500 t de fertilizante al año
Agricultura	NAMA Panela	Transferencia tecnológica, mejoras en prácticas productivas, restauración de sistema naturales, desarrollo de capacidades en torno a la producción de la Panela.	0.021 AFOLU

Las medidas y/o políticas del sector mencionadas para alcanzar su meta al 2030, presentan en gran medida, contribución en reducción a otros sectores, tal como Energía, para aquellas medidas de adopción y transferencia tecnológica, y reducciones que se contabilizarían en el sector UTCUTS, principalmente aquellas medidas relacionadas con el aumento de Sistemas Agroforestales. La medida que presenta un mayor potencial de reducción apunta a la intensificación de la producción de ganado, que busca la implementación de acciones Silvopastoriles, como también la recuperación de superficie de pasturas.

#### 4.2.4. Nueva Zelanda

Nueva Zelanda presentó su NDC actualizada en abril del 2020, manteniendo el compromiso de reducción establecido en su NDC presentada el 2016, presentando una meta de reducción de emisiones netas<sup>16</sup> de un 30% al 2030, respecto al 2005, aplicable a todos los sectores de la economía. Además, explicita

<sup>16</sup> Reducciones absolutas incluyendo al sector UTCUTS

alcanzar la carbono neutralidad al 2050, excluyendo las emisiones de metano biogénico (metano de la agricultura y residuos). Para las emisiones de metano biogénico establece una meta de reducción de un 24% a un 47% por debajo de los niveles de 2017 para 2050, incluido un 10% por debajo de los niveles de 2017 para 2030 (New Zealand Government, 2020). Las emisiones del Sector Agricultura representan un 48% de las emisiones totales nacionales, del cual un 73.1% corresponde a emisiones de "Fermentación Entérica", seguido por "Suelos Agrícolas" 20.6%.

Nueva Zelanda se caracteriza por el gasto en investigación para el sector agricultura, del cual se estima que la intensidad de emisiones de la ganadería ha disminuido considerablemente en comparación a los niveles del 1990 (Ministry for the Environment, 2017), se mencionan al menos 3 programas de investigación, asociado a sector. La iniciativa Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases, del cual Nueva Zelanda forma parte, tiene como objetivo aumentar la colaboración e intercambio de conocimientos para la reducción de emisiones del sector, que cuenta con 58 países miembros que trabajan en el desarrollo de nueva información y tecnologías. Sustainable Food & Fibre Futures, iniciativa que provee financiamiento para programas de investigación e innovación para el sector. Además, en el año 2018, se anunció el "Fondo de inversiones verdes en Nueva Zelanda" asigna presupuesto para la investigación, innovación y educación que involucra al sector.

**Tabla 15 Medidas de mitigación analizadas para alcanzar su compromiso de reducción del Sector Agricultura para Nueva Zelanda**

Subcategoría	Medida	Descripción	Reducción estimada (MtCO <sub>2</sub> e)
Agricultura	Incorporación del sector agricultura al ETS (Emission Trading System), bajo un mecanismo de fijación de precios.	Establecer un límite sobre las emisiones totales del sector, en el cual un 95% de las emisiones habrá una asignación gratuita, cubriendo solo el 5% de los cargos por emisiones	9,640

#### 4.2.5. Perú

Perú presentó su NDC actualizada el 2021, presentando una meta de limitar las emisiones a 208.8 MtCO<sub>2</sub>eq al 2030, aplicable a todos los sectores de la economía (equivalente a un 30% de reducción del BAU) y condicionada a 179 MtCO<sub>2</sub>. El Sector Agricultura representa un 12% de las emisiones totales nacionales, con un emisión anual aproximada de 25 MtCO<sub>2</sub>.

El gobierno de Perú llevó a cabo un estudio técnico para analizar las opciones futuras de opciones de mitigación para el país, en el cual se identificaron distintas opciones futuras para la reducción de emisiones para el sector. Se mencionan en la Tabla 16 las medidas establecidas en su compromiso.

**Tabla 16 Medidas de mitigación analizadas para alcanzar su compromiso de reducción del Sector Agricultura para Perú**

Subcategoría	Medida	Descripción	Reducción estimada (MtCO <sub>2</sub> e)
Agropecuario	Manejo de sistemas de producción pecuario (andina, sierra y selva)	Mejoras en la calidad del forraje, modificando factor de emisión	6.3
Cultivos	Manejo de sistemas de producción pecuario (andina, sierra y selva) Componente Cultivo de Arroz: 1.- Reemplazo por cultivos permanentes 2.- Sistema de Secas intermitentes Componente Cultivos Permanentes: 1.- Manejo Sostenible de Cultivos Permanentes	Componente Cultivo de Arroz: Reemplazo del cultivo de arroz, por otro (plátano) y cambio en el manejo, reduciendo la emisión de metano. - Cultivos permanentes: Mejoras en prácticas, disminuyendo las emisiones de Óxido nitroso.	

#### 4.2.6. Uruguay

Uruguay presentó su primera NDC el año 2017, y tal como lo indica el Acuerdo de París, los países deberán actualizar sus NDC cada 5 años, por lo que no presenta una actualización más reciente. En su NDC, presenta objetivos de reducción en base a la intensidad de emisiones por unidad de PIB respecto a los valores del 1990, y lo realiza separado por tipo de GEI. En el establece el compromiso de reducción de un 24% de sus emisiones de CO<sub>2</sub> al 2025, un 57% la intensidad de

emisiones de CH<sub>4</sub> y una reducción de un 48% la intensidad de emisiones de N<sub>2</sub>O, todo lo anterior sin incluir al sector UTCUTS. Además, establece objetivos específicos de reducción de la producción de alimentos y del sector UTCUTS. Para la producción de alimentos, establece una reducción del 31% de la intensidad de emisiones de CH<sub>4</sub> y una reducción del 34% la intensidad de emisiones de N<sub>2</sub>O, para la producción de carne bovina (Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad, 2017b). Actualmente las emisiones del sector agricultura representan un 75.3% de las emisiones totales nacionales, de las cuales un 46.1% provienen de Fermentación entérica (Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad, 2019).

Uruguay cuenta con una Política Nacional de Cambio Climático (2017), el cual entrega los lineamientos en base a objetivos y líneas de acción para guiar sus acciones en relación al Cambio Climático, en el cual explicita en su párrafo 16, la reducción de la intensidad de emisiones en los sistemas de producción pecuarias, y párrafo 26, que explicita que se favorecerá el desarrollo de planes y estrategias para la implementación de la política, en el cual destaca el Plan Nacional de Adaptación y Variabilidad al Cambio Climático del sector Agropecuario (Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad, 2017a). Esta Política tiene el foco en medidas de adaptación, sin embargo incluye los compromisos de mitigación del sector establecidas en la NDC (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, 2019). El plan cuenta con 66 acciones al 2025 bajo 4 dimensiones; Sistemas de Producción, Ecosistemas y Recursos Naturales, Medios de Vida y Capacidades Institucionales. De manera paralela, para avanzar hacia una agricultura sustentable, el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca cuenta con la Estrategia Uruguay Agointeligente, que busca impulsar la producción sostenible, vinculándose estrechamente con el plan anteriormente mencionado, estableciendo dentro de sus líneas estratégicas, la adaptación y la Mitigación al cambio climático.

Actualmente Uruguay se encuentra en el proceso de desarrollo de su Estrategia Climática de Largo Plazo para un desarrollo bajo en emisiones y resiliente al clima<sup>17</sup>, con el objetivo de planificar y lograr las metas planteadas en su NDC.

**Tabla 17 Medidas de mitigación para el Sector Agricultura de Uruguay (Sistema Nacional de**

---

<sup>17</sup> <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/estrategia-largo-plazo-uruguay-para-desarrollo-bajo-emisiones-resiliente-clima>

#### Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad, 2019)

Subcategoría	Medida	Descripción	Reducción estimada (MtCO <sub>2</sub> e)
Ganadería	Producción de Carne Vacuna	Incorporación de buenas prácticas de manejo del campo natural y manejo de rodeo de cría en establecimientos de producción ganadera en 1.000.000 ha (10% del área de pastizales), incluyendo ajuste de la oferta de forraje, manejo regenerativo y gestión adecuada del nitrógeno a 2025	
Ganadería		Utilización de tecnologías de cero descarga a ríos y arroyos y/o aplicación de buenas prácticas de tratamiento de efluentes y/o recuperación de los nutrientes y minimización de las emisiones de metano en al menos 40% de los establecimientos lecheros	

Por otro lado, uno de los proyectos emblemáticos que ha llevado a cabo el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, con asistencia técnica de la FAO y apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), ha sido el proyecto "Ganadería y Clima", el cual es un proyecto piloto en el cual 62 parcelas han sido intervenidas para implementar prácticas de ganadería climáticamente inteligente, apuntando a mejorar ingresos, productividad, restaurando los servicios ecosistémicos del campo.

#### 4.2.7. Costa Rica

Costa Rica presentó su NDC actualizada el 2020, que establece un compromiso de emisiones máxima absoluta de 9.1 MtCO<sub>2</sub>eq al 2030 (Ministerio de Ambiente y Energía, 2020), y que busca alcanzar la carbono neutralidad al 2050, aplicable a todas las categorías cubiertas por su Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero. Las emisiones del sector agricultura para Costa Rica, se estima que son aproximadamente un 12.2% (Ministerio de Ambiente y Energía & Instituto Meteorológico Nacional, 2019). Se mencionan en su NDC, compromisos específicos sectoriales. Para el sector agricultura, establece que Costa Rica se compromete al desarrollo de sistemas agroalimentarios altamente eficientes que generan bienes bajos en carbono y consolidar un modelo ganadero basado en la eficiencia productiva y disminución de GEI. Entre los compromisos establecidos, se muestran en la Tabla 18 aquellos que tienen una relación directa con



mitigación. Se identifica un compromiso, que no tiene una relación directa con la reducción de emisiones que se contabilizan en el sector agricultura, pero que, sin embargo, podría definirse como una acción de mitigación desde la demanda, en el cual define la elaboración de "Guías Alimentarias Adaptadas" que promuevan el consumo de productos agrícolas autóctonos, territoriales, de temporada.

**Tabla 18 Medidas de mitigación analizadas para alcanzar su compromiso de reducción del Sector Agricultura para Costa Rica<sup>18</sup>**

Subcategoría	Medida	Descripción	Reducción estimada (MtCO <sub>2</sub> e)
Cultivos	Sistemas Agroalimentarios bajo en Carbono	Cadenas de valor de café, ganadería, caña de azúcar, arroz, banano aplicarán tecnologías de reducción de emisiones tanto a nivel de finca, como a nivel de etapa de procesamiento.	
Ganadería	Modelo Ganadero Bajo en carbono	Al 2025 Impulsar economía circular con fincas ganaderas mediante de implementación de programa biodigestores Al 2030 70% del hato ganadero y 60% del área dedicada a la ganadería implementan tecnologías bajas en carbono. Al 2050 la actividad pecuaria utilizará la tecnología más avanzada de acuerdo con estándares de sostenibilidad, competitividad, bajas emisiones y resiliencia a los efectos del cambio climático.	

<sup>18</sup>[https://cambioclimatico.go.cr/plan-nacional-de-descarbonizacion/agropecuario/#link\\_acc-1-3-d](https://cambioclimatico.go.cr/plan-nacional-de-descarbonizacion/agropecuario/#link_acc-1-3-d)

Costa Rica tiene una buena trayectoria en políticas climáticas, presentando el 2009 su Estrategia Nacional de Cambio Climático, en el cual establece las bases para alcanzar la carbono neutralidad al 2021. Para Agricultura, el año 2015 publica la Políticas para el Sector Agropecuario y el Desarrollo de los Territorios Rurales 2015-2018, donde define pilares estratégicos de trabajo, que incluye un Pilar Estratégico de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. Dentro de las actividades estratégicas para las acciones de mitigación, contempla acciones orientadas al fortalecimiento de programas existentes, acciones conducentes al levantamiento de fondos de financiamiento, actividades de difusión y educación, promoción en investigación y desarrollo de conocimiento. Posteriormente, se actualizó dicho plan considerando para el periodo 2018-2021, en este plan se considera un pilar estratégico de Cambio Climático y gestión agroambiental. Específicamente, considera un pilar estratégico de mitigación para el sector, en el cual establece que se formulará un Plan nacional agroalimentario de mitigación al cambio climático y la implementación de programas de mitigación basados en incentivos económicos, a través de una guía que establezca las normas específicas para la creación de unidades de carbono para transar en el mercado, y un sistema de certificación C-neutral, que permita diferenciar el bien agroalimentario mediante dicho reconocimiento para el bien agroalimentario (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2011).

Actualmente, las medidas de mitigación mencionadas en la Tabla 18, comprometidas en su NDC se encuentran enmarcadas en el Plan Nacional de Descarbonización. En este contexto, el reto del sector pasó de un enfoque sub-sectorial, focalizado en algunos cultivos, a acciones centradas en un enfoque sectorial, que incluye a las actividades agrícolas y pecuarias. Establece, además, la Estrategia Ganadera baja en Carbono, con una NAMA específica para ganadería para alcanzar los objetivos propuestos.

Además, considera otras áreas vinculadas a la agricultura, como fomento de biocombustibles, reducción de GEI en la cadena de valor de la agro-industria, desarrollo de procesos de innovación en la cadena de valor de productos prioritarios, habilitando instrumentos de financiamiento para impulsar la transformación de productores (bajo su eje fomento de sistemas agroalimentarios altamente eficientes) (Gobierno de Costa Rica, 2018)

#### 4.2.8. Australia

Australia actualizó su NDC en diciembre del 2020, sin aumentar la ambición de los metas al 2030, sin embargo, presenta nuevas medidas para alcanzar dichos objetivos. Presenta una meta que aplica a todos los sectores de la economía, entre un 26% y 28% de reducción de las emisiones al 2030 respecto a los niveles del 2005 (incluyendo UTCUTS)(Australian Government, 2020). El sector Agricultura representa aproximadamente un 13.4% de las emisiones totales nacionales, del cual un 70% proviene de la Fermentación Entérica, seguido por Suelos Agrícolas con un 17.5% (Australian Government, 2021c).

En la NDC no se explicitan una meta específica referidas al sector agricultura, pero si se encuentra en su Estrategia Climática de Largo Plazo.

**Tabla 19 Medidas de mitigación analizadas para alcanzar su compromiso de reducción del Sector Agricultura para Australia**

Subcategoría	Medida	Descripción	Reducción estimada (MtCO <sub>2</sub> e)
Uso de Suelos	Soluciones basadas en suelos	El almacenamiento de carbono en la vegetación y los suelos voluntarios basadas en la suelos también proporcionan nuevas fuentes de ingresos para los agricultores y mejoran la productividad agrícola.	17 MtCO <sub>2</sub> eq al 2050
Ganadería	Suplemento alimenticio para ganadería	Suplemento en base a algas, alternativas de forraje, selección genética en base a rasgos de reducción	S/I

Australia posee una fuerte política en base a la tecnología, a través de su Hoja de Ruta de inversión en tecnología, en el cual identifica áreas prioritarias de inversión en el desarrollo de nuevas tecnologías para la reducción de emisiones, en el cual se incluye al sector agricultura. Se establece la acción “Carbono del Suelo” como una tecnología prioritaria, a través de la creación de compensaciones, generando ingreso a los agricultores y al mismo tiempo, mejorando la productividad y resiliencia de suelos. La principal barrera de dicha medida es el costo para la adopción generalizada, por lo que el gobierno apuesta en una mejora tecnológica para disminuir su costo en los procesos de MRV, actualmente

el costo de una ton de CO2 para esta práctica tiene un costo aproximado de \$30AUD, y se espera que con mejoras tecnológicas pase a \$3AUD. Además, se menciona como tecnología emergente, un cambio en el suplemento alimenticio para la ganadería, con el objetivo de reducir las emisiones de fermentación entérica del ganado bovino. Por otro lado, el Departamento de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, posee una política para el desarrollo del sector bajo el nombre de "Ag2030", en el cual establece objetivos de desarrollo para el sector, en el cual trabaja en 7 temas específicos para alcanzar las metas propuestas (alcanzar los \$100b de producción al 2030), entre ellas "fomentar la administración de nuestras tierras", que destacan diversas iniciativas para la gestión sustentable de tierras, entre ellos la "Agriculture Stewardship Package", iniciativa que trabaja para desarrollar acuerdos de mercado y poner en marcha la inversión privada en la biodiversidad agrícola y otras oportunidades de sostenibilidad, a través de 6 pilotos a nivel nacional para distintas modalidades de técnicas para avanzar en mecanismos basados en mercados, para premiar a aquellos agricultores que aumenten la diversidad a través del piloto "Biodiversidad + carbono"(este proyecto permitiría participar en los mercados de carbono), piloto de "Mejora de vegetación remanente", desarrollar un modelo de "Certificación de Biodiversidad Agrícola", diseño de "Plataforma de Comercio para Biodiversidad" que busca desarrollar una plataforma que permita conectar a los agricultores con los proveedores de servicios de biodiversidad, el "Esquema de certificación agrícola", y Declaración de política de biodiversidad agrícola. Además, se menciona la Estrategia Nacional de Suelos(Australian Government, 2021b), como instrumento articulador para avanzar en iniciativas de protección de suelos, que incluye el avance en desarrollo de tecnologías para aumentar las capacidades y optimizar las mediciones efectivas de reducción de emisiones.

#### **4.2.9. Análisis de experiencias relevantes de interés para Chile**

En base a la revisión de los compromisos internacionales establecido en las NDC de distintos países analizados, se identifica una variedad de medidas de mitigación de acuerdo a los distintos contextos de cada país.

En los países analizados, en promedio las emisiones del Sector Agricultura representan un 21% <sup>19</sup>de las emisiones totales nacionales. En el conjunto de países analizados existe una diversidad de acciones de mitigación para el sector agricultura, desde mecanismos de fijación de precios para las emisiones del

---

<sup>19</sup> Con una desviación estándar de 14%

sector, a medidas de Sistemas integrados como lo son los sistemas agroforestales o silvopastoriles.

De las experiencias analizadas, existe experiencias en relación a la reducción de emisiones de la ganadería, con énfasis en la mejora de la productividad a través de mejoras en la alimentación, mejoras genéticas y la gestión de sistemas integrados Silvopastoriles. Por otro lado, países más desarrollados, tal como Nueva Zelanda y Canadá, asignan un importante presupuesto en investigación para explorar nuevos métodos innovadores para la reducción de emisiones asociadas a la ganadería y manejo de praderas. Por otro lado, existen diversos estudios que involucran a varios de los países revisados, en el cual demuestra que existen varias experiencias y posibilidades de reducción de emisiones bajo cambios en la dieta bovina (Arango et al., 2020), con reducciones de hasta un 50% de las emisiones producto de la mejora en el manejo de pasturas, para el caso de Colombia, hasta un 30% de reducción en las emisiones a través de la mejora de la calidad de alimentación para Costa Rica, y un 12% para el caso de Uruguay bajo el mismo concepto.

Para el caso de Chile, se ha analizado fortalecer las capacidades de implementación de biodigestores de purines porcinos, como principal medida de reducción del sector ganadero.

Respecto a medidas de gestión de cultivos o praderas, varias experiencias analizan la reducción de emisiones asociadas a la aplicación de nitrógeno, a través de un uso eficiente del fertilizante, como también enfoques en la reducción de residuos agrícolas en campo, tal como lo propone Argentina al aspirar a cambiar la matriz productiva a cultivos que contengan una menor cantidad de residuos, o Perú bajo la mejora de prácticas en cultivos, enfocado principalmente en la disminución de emisiones de óxido nitroso. Colombia y Canadá, también presentan medidas asociadas a este contexto, a través de una mejora en la transferencia tecnológica a agricultores para un manejo sostenible de cultivos. En Chile, se ha analizado el potencial de reducción de emisiones a través de la asistencia técnica al uso eficiente de fertilizantes (Ministerio del Medio Ambiente, 2021), sin embargo, no se han realizado análisis más profundos respecto a explorar medidas que reduzcan los residuos de cosechas como medida de acción para la reducción de emisiones.

Actualmente se está trabajando en una planilla Excel que reúne y clasifica las medidas, programas y políticas planteadas y propuestas por los distintos países

analizados bajo la nomenclatura FAO. Se incorporarán al análisis otras experiencias relevantes consideradas por la contraparte, tal como Australia, Uruguay y Costa Rica. Se identificarán con la contraparte las experiencias relevantes de interés para explorar en un análisis más profundo, que revisará en detalle medios de implementación, estructura de gobernanza, estructura de financiamiento, metodología de cuantificación del potencial de mitigación respectivo, costos e inversión asociados, identificación de co-beneficios, y, barreras y brechas de implementación.

### **4.3. Análisis de Políticas Públicas para la reducción GEI del sector Agricultura a nivel internacional**

En esta sección se detallan en mayor profundidad a soluciones encontradas en otros países, para promover la mitigación en el sector. El foco en esta revisión está centrado en explorar, profundizar y analizar en experiencias de políticas públicas, planes y estrategias que consideren acciones para el sector en los países relevantes o a nivel nacional, analizar dichas acciones para que sirvan como insumo para una potencial oportunidad de medida a implementar.

Se realizó una revisión de experiencias para el caso de Australia – “Emission Carbon Fund”, asociado principalmente a la reducción de emisiones a través la captura de carbono en suelos, además de otras metodologías de cuantificación de reducción de emisiones incorporadas en el su sistema de transacción de emisiones. Se analiza la experiencia de la NAMA de ganadería de Colombia y el Fondo de soluciones climáticas naturales de Canadá.

Para cada una de estas experiencias se realiza una descripción general del vínculo con su compromiso NDC, el medios de implementación, es decir, si la acción, programa, o plan se encuentra en marcada en alguna directriz o estrategia nacional, plazo de ejecución, y acciones concretar que la llevar a su implementación. Se describe la estructura de gobernanza y de financiamiento, potencial de mitigación, costos de mitigación, posibles co-beneficios de la implementación de la medida, cuando esta información se encuentra disponible, y principales barreras de implementación.

#### **4.3.1. Emission Reduction Fund “Carbon Farming initiative”**

“Carbon farming initiative”<sup>20</sup> fue un mecanismo voluntario de reducción de

---

<sup>20</sup> <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/Infohub/CFI/Carbon-Farming-Initiative>

emisiones enfocado en la agricultura(2011 - 2014), que fue integrado al Fondo de Reducción de Emisiones (ERF, por sus siglas en inglés). El ERF es un mecanismo de compensación de emisiones combinado con la compra de reducciones de emisiones, y que tiene por objetivo la reducción voluntaria. El ERF incentiva a empresas australianas a reducir sus emisiones bajo actividades que almacenan y/o reducen carbono, los participantes adquieren Unidades Australianas de Créditos de Carbono (ACCU, por sus siglas en inglés), por la reducción de emisiones acreditadas y que posteriormente se pueden vender generando ingresos ya sea por el gobierno o en el mercado secundario<sup>21</sup>.

La ELP de Australia plantea una inversión de más de \$20AUD billones al 2030 en su Hoja de Ruta de inversión tecnológica, del cual a la iniciativa ERF se le asigna un presupuesto de un 13% de dicho presupuesto.

Los proyectos que se presentan deberán involucrar:

- Una nueva tecnología
- Mejoras de equipos
- Cambios en prácticas de negocios para mejorar productividad o uso energía
- Cambios en manejo de la vegetación para el almacenamiento de carbono

Los proyectos elegibles incluyen aquellos asociados con:

- Manejo de la vegetación
- Agricultura
- Consumo de Energía
- Desperdicios
- Transporte
- Producción de carbón o gas
- Procesos industriales

Los proyectos deben cumplir una serie de principios de elegibilidad, adicionalidad y acreditar los mecanismos de salvaguardas, que evitan los desplazamientos de emisiones por la reducción de un proyecto. Para cada tipología de actividad, existe un método de acreditación y contabilidad para asegurar la reducción

---

<sup>21</sup> <https://www.industry.gov.au/funding-and-incentives/emissions-reduction-fund>

respectiva. Para el caso de agricultura, los proyectos elegibles son:

- Gestión de efluentes de animales
- Gestión del rebaño vacuno
- Secuestro de carbono en suelos utilizando el método de valores predeterminados
- eficiencia en el uso de fertilizantes en el método de algodón de regadío
- Medición del secuestro de carbono en suelos en sistemas agrícolas
- Suplementos alimenticios para el ganado de carne
- Suplementos alimenticios para el ganado lechero

La institución encargada de administrar el ERF es el Clean Energy Regulator, (CER, por sus siglas en inglés), que tiene la función de apoyar y gestionar la creación, verificación y transacción de las ACCU's<sup>22</sup>. Es una autoridad estatutaria independiente, lo que lo desliga de cambios del gobierno, y está compuesta por el presidente y los miembros, que establece la dirección estratégica para la administración de la agencia de su esquema regulatorio.

El financiamiento es asignado bajo presupuesto estatal a través de *Clean Energy Regulator Act 2011*<sup>23</sup>, para la mantención de las actividades operativas y de gestión para el correcto funcionamiento del sistema. Dada la complejidad de proyectos, procedimientos y estructuras legales que componen el sistema, la estructura organizacional se compone de 4 grandes departamentos, (1) Rama de servicios legales y gobernanza, (2) Departamento de esquemas de operación, (3) Departamento de esquema de Soporte y (4) Rama corporativa. El departamento de esquemas de operación tiene la función del desarrollo de nuevos métodos y revisión y actualización de métodos de contabilización, una función específica para la gestión de la rama "Emissions Reduction Fund", y una función de salvaguardar, que permite el seguimiento y transparencia para no llevar a cabo dobles contabilidades, fugas de emisiones o que existan aumentos de emisiones que serán desplazadas hacia otro lugar. El Departamento de Esquemas de Soporte, se encarga de elementos de soporte, como compilación de información, análisis económicos, área digital, data e innovación. Es importante destacar que la CER, es la institución que además lleva los Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero.

---

<sup>22</sup> <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/About/Who-we-are>

<sup>23</sup> <https://www.legislation.gov.au/Series/C2011A00101/Compilations>



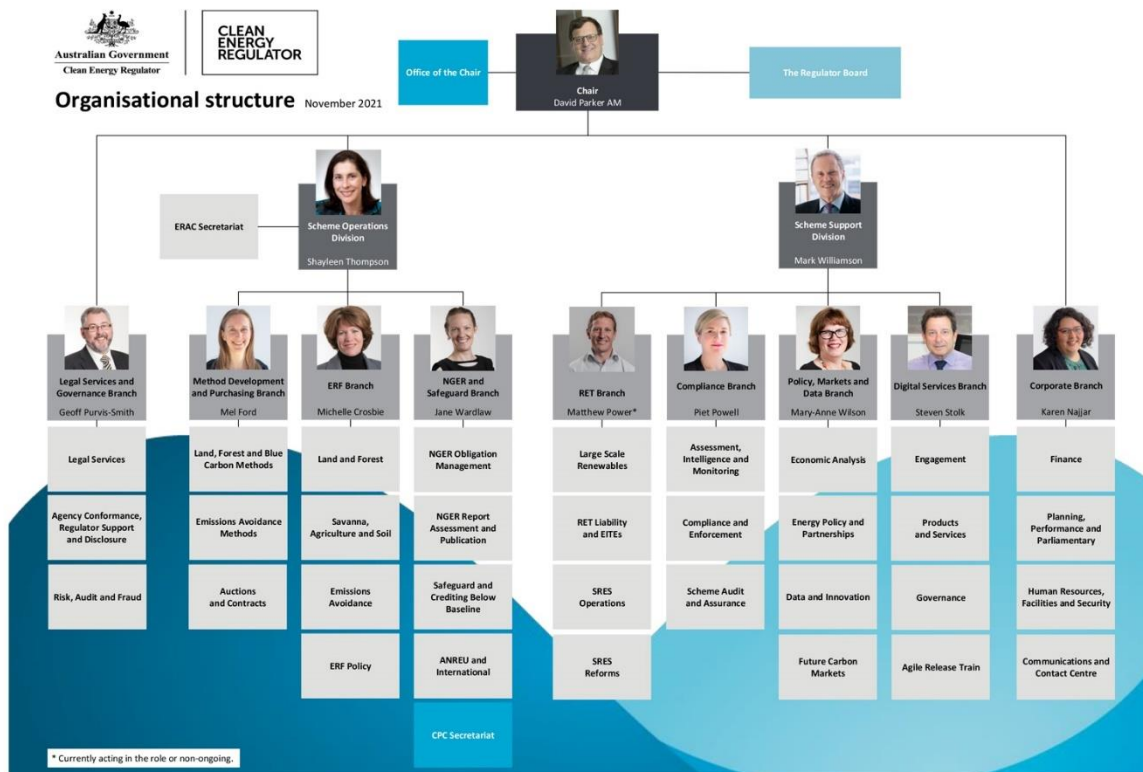


Figura 10 Imagen referencial sobre estructura organizacional del CER<sup>24</sup>, institución que administra el ERF

Actualmente, el gobierno australiano a puesto especial énfasis en la reducción de emisiones asociadas a la captura de carbono en suelos. Para esto, el gobierno ha asignado un presupuesto de \$8MAUD, para el “Programa de datos de suelos”, que busca ayudar a la recopilación y desarrollo de nuevos enfoques de medición para optimizar la gestión. Se asignó un presupuesto \$36MAUD para el “Desafío Nacional de Innovación en Carbono del Suelo”, que identificará vías rápidas de bajo costo soluciones tecnológicas precisas para medir el carbono orgánico del suelo, también \$20M AUD para el “Desafío Nacional de Ciencias del Suelo”, que ayuden a abordar las brechas fundamentales en la ciencia del suelo y mejorará la comprensión de cómo administrar mejor el suelo. También, bajo la “Estrategia Nacional de Suelos”, que busca ayudar a los agricultores a tomar mejores decisiones en el manejo de suelo, en el cual se enmarca el proyecto piloto, “Piloto nacional de Monitoreo de Suelos e incentivos”, bajo un presupuesto de \$54,4MAUD que está probando nuevas medidas para incentivar las pruebas de suelo y el intercambio de datos para mejoras en el sistema en general. Finalmente,

<sup>24</sup> [http://www.cleanenergyregulator.gov.au/PublishingImages/Organisationalstructure\\_enlarged.jpg](http://www.cleanenergyregulator.gov.au/PublishingImages/Organisationalstructure_enlarged.jpg)

dentro de los esfuerzos para impulsar dicha medida, se encuentra la iniciativa “ Centro de Investigación Cooperativa para Suelos de Alto Rendimiento”, que busca desarrollo en la ciencia del suelo, mejoras tecnológicas en la agricultura, y mejoras en la productividad de suelos (Australian Government, 2021a). La estrategia que está desarrollando Australia, se basa principalmente en disminuir los costos de tecnologías para reducciones esenciales.

#### **4.3.2. NAMA Ganadería Sostenible en Colombia**

La Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada NAMA de la ganadería bovina sostenible en Colombia, constituye una política pública que tiene el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por las cadenas de suministro de carne y leche (principalmente en el eslabón de producción primaria), e incrementar la cantidad de carbono almacenada en los agro-ecosistemas con vocación bovina. Desde hace años Colombia proyecta avanzar en este compromiso que, junto con esta iniciativa, asume la cifra de reducir un 51% sus emisiones para el 2030 equivalente a 163 M tCO<sub>2</sub>eq, como un aporte significativo de sus políticas verdes y recuperación de la economía sostenible post-covid-19. Esta política tiene por objeto dos grandes ámbitos que se traducen en (1) asegurar la sostenibilidad ambiental a través de la gestión integral de la biodiversidad, del uso eficiente del agua, el suelo y los insumos productivos y, por otro lado, (2) potenciar e intensificar la productividad y competitividad de la ganadería bovina colombiana (Banco Mundial et al., 2021)..

La NAMA está enfocando en 31 conglomerados que están ubicados en 7 de las ecorregiones ganaderas colombianas, que abarcan 434 municipios El 47,6% del inventario bovino nacional y el 52% de las emisiones de GEI brutas, así como el 43% del área de Colombia que está actualmente en uso de producción bovina<sup>25</sup>. Para lograr que la ganadería bovina avance hacia una senda de crecimiento sostenible y baja en carbono, la NAMA bovina prioriza líneas de acción estratégicas orientadas a la reconversión y al desarrollo de procesos productivos eficientes en el uso de los recursos naturales, bajo un enfoque de soluciones basadas en naturaleza y de economía circular. Como por ejemplo: en sistemas mixtos de cultivos y ganadería o sistemas silvopastoriles a nivel de finca; en granjas especializadas de cultivos y ganado vinculadas a través de bancos de estiércol y cadenas de suministro de alimentos a nivel regional etc (FAO, 2018b)

---

<sup>25</sup> <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/avanza-la-hoja-de-ruta-de-la-nama-en-el-pais>

Las principales acciones de mitigación de la NAMA bovina son: (1) Aprovechamiento óptimo de residuos de los eslabones de comercialización y beneficio de la cadena de suministro de la carne bovina. (2) Intensificación sostenible de la producción ganadera a través de la gestión del conocimiento y el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos y no intensivos. (3) Liberación de áreas cuyo uso actual es la producción bovina, y realización de estrategias de restauración ecológica.

El punto (1) se orienta a la etapa de comercialización, subastas, ferias y plantas de beneficio, lugares donde hay alta emisión de GEI. Los puntos (2) y (3) abarca la producción de carne y leche que elevan importante emisiones de GEI a la atmósfera. Las cadenas de suministro de ganado representan 7.1 GT CO<sub>2</sub>, equivalente al 14.5% de las emisiones antropogénicas globales de gases de efecto invernadero (GEI). La ganadería bovina (carne de res, leche) es responsable de alrededor de dos tercios de ese total, en gran parte debido a las emisiones de metano resultantes de la fermentación ruminal

Los recursos financieros pueden provenir de fuentes privadas y públicas, multilaterales y/o bilaterales, ya sean estos nacionales, regionales o internacionales. Estos pueden accederse a través de diferentes instrumentos financieros como son los créditos, préstamos concesionales, inversiones de capital de riesgo, inversiones de impacto, bonos verdes, cooperación no-reembolsable, impuestos por contaminación o ineficiencia en la producción, incentivos para la producción sostenible, y tarifas en calidad de donación.

- Fomento de la capacidad para elaborar y ejecutar proyectos de mitigación, es decir, todas las acciones que tienen que ver con la coordinación a nivel local para que diferentes actores empiecen a conocer las estructuras que requieren proyectos de mitigación, así como las facilidades de financiación que existen para implementarlos.
- Aprovechar los instrumentos económicos y financieros existentes para movilizar la financiación, enfocado en el trabajo para habilitar las líneas de crédito y acceso a recursos a través de planificación de presupuestos públicos
- Innovar a través de la identificación y movilización de fuentes y mecanismos complementarios de financiación para empezar a hablar de bonos verdes, compensaciones ambientales, pagos por servicios ambientales, etc.
- Vincular los sistemas de medición y verificación del sistemas MRB en la

implementación de acciones de financiación, requiriendo un monitoreo y documentación muy estricto para efectos de conocer la necesidad de financiamiento que puede llegar a surgir.

#### 4.3.3. Fondo para Soluciones Climáticas Naturales para la Agricultura - Canadá

Enmarcado en el "Plan de Clima Fortalecido de Canada"<sup>26</sup> (Canada's Strengthened Climate Plan, en inglés), para avanzar en la implementación de medidas de Soluciones basadas en Naturaleza, con el objetivo de promover una transformación resiliente, ha definido un presupuesto de \$4mil millones de CAD para los próximos 10 años en 3 programas:

- Programa de 2 billones de árboles
- Soluciones Climáticas Inteligentes de la Naturaleza
- Soluciones Climáticas Agrícolas

El programa de **Soluciones Climáticas inteligentes de la Naturales** estima la reducción de al menos 2 a 4 M tCO<sub>2</sub>eq en los próximos 10 años. El fondo apoyará la implementación de proyectos de conservación, restauración y mejoras en humedales y turberas, almacenamiento de carbono en praderas, promoviendo la gestión de hábitats claves para aves migratorias, especies en riesgo y otras especies de importancia cultural y/o socioeconómicas de las comunidades. Establece 3 tipologías de proyectos aplicables, (1) acciones basadas en el lugar, (2) proyectos de corriente de políticas sectoriales, que apoya actividades necesarias para actualizar, desarrollar y/o implementar políticas, programas o herramientas para abordar problemáticas sistémicas relacionadas con las soluciones basadas en naturaleza, y (3) proyectos de uso de subasta inversa, que invita a propietarios a licitar acuerdos para evitar la conversión y/o promover la restauración de hábitats naturales en tierras de cultivos.

El programa **Soluciones Climáticas Agrícolas**, consiste en el establecimiento de una red de laboratorios vivos en todo Canadá, contando con un fondo de \$185CAD para los próximos 10 años, reuniendo a agricultores, científicos y otros socios del sector para desarrollar, probar y monitorear prácticas de gestión

---

<sup>26</sup> <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/environmental-funding/programs/nature-smart-climate-solutions-fund/reverse-auction-pilot-stream.html>

beneficiosas en campo en funcionamiento, para reducir la huella ambiental y mejorar la resiliencia climática del sector. En el marco de lo anterior, el fondo ayuda a agricultores a adoptar prácticas de gestión beneficiosas para el almacenamiento de carbono, específicamente en 3 áreas: (1) Manejo del nitrógeno, (2) cultivos de cobertura y (3) prácticas de rotación de cultivos.

Ambos programas establecen restricciones para los proponentes de proyectos y funciona bajo un periodo de postulación de proyectos elegibles que son seleccionados en base a criterios definidos previamente, priorizando aquellas medidas provenientes de organizaciones sin fines de lucro, grupos indígenas, corporaciones provinciales o territoriales, y organizaciones con fines de lucro. La institución responsable de gestionar el fondo es el Ministerio de Agricultura.

#### 4.4. Análisis de tecnologías disruptivas, innovadoras o tendencias relevantes del sector-

Con el propósito de promover la mitigación de GEI, se presentará una mirada a soluciones basadas en tecnologías disruptivas y/o innovación en el sector agrícola como opciones de medidas de mitigación.

Es relevante establecer una definición de tecnologías disruptivas y/o innovación, para facilitar y limitar la revisión de documentos. De lo anterior, distintas definiciones han sido revisadas en el contexto de la agricultura y tecnologías bajas en carbono. El concepto tecnologías disruptivas, es relativo al contexto temporal, y se puede considerar de tiempos antiguos, desde la creación del arado en la Babilonia antigua, a tiempos actuales, donde el actual modelo de producción convencional de la agricultura, en el cual el foco de la producción en masa de alimentos llevó a una solución insostenible para el medio ambiente y la sociedad, el cual ha tenido su auge bajo tecnologías disruptivas, es decir, que cambiaron la forma en cómo se hacían las actividades.

Para el contexto actual, bajo los requerimientos de un rediseño de los sistemas de producción, orientados a entregar soluciones inteligentes, innovadoras y sustentables, con foco en la reducción de emisiones del sector, gran parte de los estudios actuales enfocados en tecnologías disruptivas en el sector agrícola, se centran en la Tecnología agrícola (AgriTech) con la aplicación de inteligencia artificial (IA) (Spanaki et al., 2021). Se complementa esta definición al contexto, tomando la definición de innovaciones disruptivas bajas en carbono (DLCl, por sus siglas en inglés) como: "Modelos de innovación de negocios y tecnológicos que ofrecen que ofrecen propuestas de valor novedosas a los consumidores y que pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero si se adoptan a nivel local", que focaliza el concepto desde la demanda (consumidores) (Wilson et al., 2019).

Dentro de las innovaciones disruptivas bajas en carbono que provienen **desde la demanda**, responden principalmente a desafíos asociados a una reducción del consumo de carnes, desafiar a los modelos de producción convencional de alimentos, que promueven las relaciones entre productores y consumidores, que reducen la demanda y desperdicio de alimentos, y mejoras en la transparencia de información para el consumo. Si bien no existe un marco general que defina las distintas tecnologías disruptivas desde la demanda, diversos estudios que analizan estas desde el punto de vista de la demanda de productos alimenticios.

(Wilson et al., 2019) realiza una revisión de distintas fuentes de información, organiza las Innovaciones disruptivas bajas en carbono (DLCI, por sus siglas en inglés), en 4 dominios principales, entre ellos Alimentos, de cara al consumidor, agrupándolos en 4 grandes categorías:

1. Preferencias de dietas alternativas
2. Producción urbana de alimentos
3. Relaciones entre productores y consumidores, y
4. Reducción desde la demanda de alimentos.

La primera categoría, **preferencia de dietas alternativas** están asociadas principalmente a la reducción de consumo de carne animal, desde aquellas dietas que incluyen un día a la semana, como por ejemplo "lunes sin carne", hasta espectros como el veganismo o dietas basadas en proteínas de insectos. En esta categoría también incluye la dieta basada en carne cultivada, que se basa en el consumo de carne de animal que se cultiva en biorreactores. Esta categoría apunta a una reducción de emisiones asociadas a la producción de ganado, desde las emisiones de metano producto de la fermentación entérica en los sistemas digestivos de rumiantes, emisiones por la gestión de estiércol o depósitos de estiércol en pastura o deforestación para la habilitación de praderas para el ganado.

La segunda categoría de innovaciones disruptivas bajas en carbono está asociada a **la producción urbana de alimentos**, en este sentido, distintos modelos de producción autogestionada tales como granjas comunitarias o cultivo propio de alimentos, agricultura vertical, que incluye la producción de alimentos en módulos apilados como medios de cultivos hidropónicos autónomos, o invernaderos en azoteas que pueden utilizar el calor residual de los sistemas de calefacción y ventilación de edificios para aumentar la productividad. Estas acciones apuntan a una reducción de emisiones del transporte de alimentos y producción intensiva en tierra o otros inputs de la agricultura convencional.

La tercera categoría se enfoca en iniciativas que establece **relaciones entre productores y consumidores**, ejemplos como la entrega de canastas de alimentos en base a productores locales, brindando opciones periódicas de alimentos, acorde a la temporada, o bien plataformas de conexión de alimentos, que acerca a productores locales con consumidores a través de los mercados digitales u organizaciones sociales para la reducción de desperdicios, mejora la transparencia de suministros y respalda métodos específicos de producción. Las

reducciones de emisiones se asocian principalmente al transporte, acortando la cadena de intermediarios, pasando de la granja a la mesa a nivel local, dependiendo del método de producción, esta pudiera generar co-beneficios de mitigación a través de prácticas de conservación de suelos o sistemas vivos en predios, y favorece el desperdicio de comida.

Finalmente, la última categoría se enfoca en actividades que **reducen la demanda de alimentos** a través de métodos como redistribución o intercambio de alimentos que vincula a minoristas (o consumidores) locales con excedentes de alimentos a organizaciones benéficas (o consumidores) que necesitan alimentos, o a la reducción de desperdicio de alimentos, que incluye planes en los establecimientos de comida autoservicio permitiendo la reducción del tamaño de las porciones.

En general, las tecnologías y/o innovaciones disruptivas bajas en carbono relacionadas con los alimentos (o desde la demanda), son menos valoradas que otros tipos de alternativas (energéticas, de transporte u otras), debido a su intermitencia de productos durante el año, baja participación de usuarios, sin embargo, ofrecen otros atributos novedosos a los usuarios finales, incluidas las redes sociales, la participación activa y la visibilidad (Spanaki et al., 2021), que pueden conducir a una reducción de emisiones y generar co-beneficios sociales en las comunidades. El potencial que tienen las redes sociales para generar recursos para el aprendizaje y apoyo, es una oportunidad que puede aprovecharse para el comercio y cambio de prácticas (Casey et al., 2016).

Dado que cultivar más tierra no será una solución viable en el futuro, se deben seguir vías alternativas para aumentar el rendimiento y las cosechas (Wolfert et al., 2017 citado en [Spanaki et al., 2021](#)), por lo que surge la necesidad de rediseñar la producción agrícola en base a soluciones innovadoras orientadas a la sostenibilidad aplicada en los campos de cultivo. [Spanaki et al. \(2021\)](#) realiza un análisis sistemático de 205 artículos relacionados a AgriTech, y usando el marco teórico de Tsolakis et al. (2019) define tres categorías de acuerdo a las características de la aplicación tecnológica (física, cibernética y ciber-física).

Sin embargo, la síntesis de la investigación de [Spanaki et al. \(2021\)](#) amplía dicha tipología y delimita los estudios sobre los que hablan de AgriTech impulsados por la IA y define el área de aplicación por tipo de operación y los desafíos operativos que cada categoría podría apoyar. Las categorías son:

1. Aspectos físicos de AgriTech por tipo de operación y área de aplicación



2. Aspectos cibernéticos de AgriTech por tipo de operación y área de aplicación
3. Aplicaciones ciberfísicas de AgriTech por tipo de operación y área de aplicación

Las aplicaciones relacionadas con **aspectos físicos de AgriTech** se definen como las tecnologías disruptivas para las operaciones agrícolas que pueden reemplazar no sólo las tareas de mano de obra humana (por ejemplo, maquinaria robótica, sistemas de riego, etc.), sino que también presentan características físicas como el "hardware" de AgriTech, principalmente esta categoría se refiere a la maquinaria y las herramientas para las tareas agrícolas. El aspecto físico puede clasificarse y relacionarse con las operaciones acuáticas, las operaciones aéreas, operaciones terrestres y una combinación de ellas en función de su aplicación con las plantas y los animales (ganado) (Spanaki et al., 2021).

Algunos ejemplos de aplicaciones de aspectos físicos se muestran en la Tabla 20:

**Tabla 20. Ejemplos concretos de aspectos físicos de AgriTech clasificados por tipo de operación y área de aplicación. Fuente: Elaboración personal, ejemplo obtenidos de (Spanaki et al., 2021).**

Aspectos Físicos de AgriTech			
Tipo de operación	Área de aplicación		Desafíos abordados por la solución AgriTech
	Plantas	Animales	
Agua	Mapeo de riego mediante algoritmos de aprendizaje automático a través de técnicas de aprendizaje automático (Ozdogan and Gutman 2008) combinado con sistemas robóticos de odometría para la recogida de imágenes (Ericson and Åstrand 2018).		Comprobación del estado de los árboles Clasificación de tierras y cultivos Vigilancia de tierras y animales Educación de los agricultores
Aéreo	Plataforma de vehículos autónomos que navegan por el centro de las hileras de huertos de árboles frutales con foco en el dosel de los árboles y el espacio aéreo de una hilera Radcliffe et al. (2018).		Evaluación del estado de las plantas Cartografía de la irrigación
	Usando teledetección: Algoritmos de entrenamiento para explorar técnicas de procesamiento de imágenes para la diferenciación de las características de color de las plantas (análisis de datos, algoritmo) (Pydipati et al. 2006).		Cosecha de los cultivos
Tierra			Evaluación de las infestaciones de insectos Alimentación automatizada de

	Utilización de herramientas técnicas o Imágenes Satelitales o Sistemas de vigilancia o Maquinaria agrícolas o Entrenamiento de campo o Robots o Algoritmos para aprendizaje automático y el procesamiento de datos.		los animales Evaluación de la salud de los animales Control de los parámetros medioambientales
		Tecnologías de alimentación automatizada para cerdas preñadas (Manteuffel et al. 2011).	
	Aplicaciones robóticas para vigilancia de la tierra: o Plataforma robótica móvil para aplicaciones agrícolas (Ozdogan and Gutman 2008). o Robot cosechador de melones mediante animación en 3D y en tiempo real (Edan et al. 1993) o Desarrolló un sistema robótico móvil de detección autónoma de troncos de árboles (Bayar , 2017) o Reconocimiento robótico de malezas para praderas (Kounalakis et al. 2019)	Supervisión del comportamiento y las condiciones de vida a través de un sensor montado en el animal, y los sistemas inteligentes de vigilancia automática para supervisar de forma automática y continua la salud de los animales (Yazdanbakhsh et al. 2017).	
Combinación	Arquitectura para clasificar la cobertura de suelo y tipos de cultivo a través de imágenes satelitales multi-temporales de múltiples fuentes Kussul et al. (2017).	sistema de hardware de código abierto para la monitorización de diferentes parámetros ambientales (Mesas-Carrascosa et al. 2015).	
	Enfoque de comunidad de aprendizaje para educar a los agricultores sobre tecnologías de teledetección e implantarlas (formación sobre el terreno) (Seelan et al. 2003)		

A partir de estas aplicaciones se archivaron varios beneficios, como la reducción del tiempo de recogida de los cultivos, el aumento de la eficiencia de la cosecha y la detección más rápida de los problemas de salud de las plantas (Spanaki et al., 2021).

En segundo lugar, los **aspectos cibernéticos de AgriTech** hacen referencia a aplicaciones que están principalmente relacionadas con la plataforma de software y tienen un fuerte vínculo con el análisis de datos y los sistemas de apoyo a la toma de decisiones para las operaciones agrícola. Estos aspectos se pueden categorizar en tres: Plataformas Analíticas, Simulaciones Virtuales y Algoritmos basados en diferentes tipos de tecnologías aplicadas. Cada una de estas categorizaciones luego se clasifican en operaciones acuáticas, operaciones aéreas, operaciones terrestres y una combinación de ellas en función de su aplicación con las plantas y los animales (ganado) (Spanaki et al., 2021). Ejemplo

según categoría se pueden ver en la Tabla 21.

- La categoría Plataformas Analíticas se centra en la aplicación de agua en las plantas y combinan métodos de computación con simulaciones y algoritmos para mejorar la planificación y gestiones de los recursos hídricos, así detectar sustancias químicas en el agua. También, existen aplicaciones analíticas en la tierra con enfoque en plantas como, por ejemplo: respuestas espectrales mixtas, redes neuronales<sup>27</sup>, lógica difusa y desarrollo de índices (Spanaki et al., 2021).
- En cuanto a las técnicas de simulación, este se utiliza para aplicaciones en agua y en la tierra. En concreto, el interés de los modelos de simulación se centra en el desafío del drenaje del agua agrícola al principio de la temporada de cultivo, y en la combinación del flujo no saturado y agua subterránea (Spanaki et al., 2021).
- Los modelos algorítmicos se enfocan en ayudar a mejorar de la eficiencia del agua, la optimización de la planificación del riego y la evaluación del drenaje. Dichos estudios muestran modelos de programación dinámica estocástica para analizar la estrategia de inversión óptima de un agricultor para adoptar un sistema de riego por goteo eficiente en el uso del agua o un sistema de riego por aspersión (Spanaki et al., 2021).

---

<sup>27</sup> Una red neuronal (neural network, en inglés) es un sistema de tecnologías de la información inspirado en la estructura del cerebro humano que dota a los ordenadores de inteligencia artificial. Se caracterizan por ayudar a los ordenadores a solucionar problemas por sí mismos y a mejorar sus propias capacidades (IONOS, 2020)

**Tabla 21 Ejemplos concretos de aspectos Cibernéticos de AgriTech clasificados por tipo de operación y área de aplicación. Fuente: Elaboración personal, ejemplo obtenidos de (Spanaki et al., 2021).**

Aspectos Cibernéticos de AgriTech							
Tipo de operación	Área de aplicación						Desafíos abordados por la solución AgriTech
	Plataforma Analítica	Simulación virtual		Algoritmos propuestos			
	Plantas	Animales	Plantas	Animales	Plantas	Animales	
Agua	Modelo de optimización determinista para aliviar el impacto de la sequía estacional, que asigna los recursos de agua de riego disponibles para maximizar los rendimientos anuales en un sistema de riego de embalse-estanque (Chen et al., 2016)	Simulación de orden jerárquico y la longitud de la cola de vacas en un sistema de ordeño automático (Halachmi., 2009)	Interfaz de realidad virtual que podía utilizarse en el manejo de una cosechadora al cosechar cultivos virtuales (Luecke., 2012).	Desarrollo computacional de un pollo virtual (VirChicken) diseñado para los controladores de clima en naves avícolas (Aerts and Berckmans., 2004).		Aplicaciones de redes neuronales para el análisis inteligente de datos en el campo de la ciencia animal (Fernández et al. 2006).	Planificación y gestión del riego Detección de productos químicos Recogida automatizada de recursos de los animales Control climático del alojamiento de los animales Evaluación del suelo Asignación de recursos hídricos Análisis del estado de los animales
Aéreo	Vehículos autónomos, metamodelos y métodos de captura de características de las especies a partir de imágenes (Yu et al. 2017)						
	Diseño y la aplicación de modelos inteligentes de datos para la estimación de la temperatura del aire basadas en el clima utilizando factores geográficos (Sanikhani et al., 2018)						

Tierra					Algoritmos de herramientas de evaluación hídrica y del suelo para relacionar el volumen de drenaje con la profundidad de la capa freática (Moriasi et al. 2011)	Proyectos de investigación que aplican técnicas de aprendizaje automático para detectar el celo en vacas lecherass (Scott (Mitchell et al. 1996)	Evaluación de las condiciones climáticas y de los cultivos Predicción del comportamiento de los animales Control de enfermedades animales Optimización del rendimiento Evaluación de la disponibilidad de recursos naturales Evaluación de los cambios en el suelo y sus implicaciones
		Métodos de soft-computing para pronosticar la evapotranspiración de referencia (ET0), que se utiliza para planificar y gestionar los recursos hídricos en la agricultura (Gocic et al. 2015)			Redes neuronales para la clasificación de cultivos y malezas (Moshou et al. 2001)	Técnicas de aprendizaje automático (machine learning), para detectar el celo en vacas lecheras (Scott Mitchell et al. 1996)	
Combinación	Simulación de patrones de contaminación de aguas subterráneas por nitratos derivados de la agricultura mediante la técnica de redes neuronales artificiales (ANN por sus siglas en inglés) (Wang et al. 2006)						
	Aplicación de modelos de cultivos basados en la fisiología para la cuasi-optimización de los programas de riego "a nivel de planificación" (Georgakakos 2007)						
Modelos de simulación y sistemas de información geográfica en un sistema de producción de algodón para optimizar el rendimiento y minimizar los inputs de agua y nitrógeno (Scott Mitchell et al. 1996)							

<p>Vehículos aéreos no tripulados para visualizar y cuantificar los cambios físicos del suelo y su influencia en la morfología de la superficie con una resolución submilimétrica e identificar los factores limitantes del rendimiento para los agricultores utilizando datos reales de los cultivos (Kaiser et al. 2018) (Kaiser et al. 2018).</p>						
			<p>Modelos de simulación suelo-planta-atmósfera para examinar la influencia de un cultivo de cobertura de cereales de invierno con las pérdidas de nitrato-N (Feyereisen et al. 2007).</p>			<p>Algoritmo para la clasificación no supervisada del comportamiento de los datos electrónicos recogidos a alta frecuencia de los sensores de movimiento y GPS montados en el collar en el ganado de pastoreo para el seguimiento automático y en tiempo real del comportamiento con una alta resolución espacial y temporal (Gonzalez et al. 2015)</p>

La tercera categoría es la combinación de las dos anteriores. El área de **aplicación ciber-física**, se refiere principalmente a la maquinaria agrícola inteligente y/o robótica para la granja que incluye el hardware y el software para el análisis de datos y la toma de decisiones predictiva/prescriptiva, consejos y recomendaciones (Spanaki et al., 2021).

Algunos ejemplos de esta área de aplicación son: tractores inteligentes, drones conectados con sensores en el campo, y otros dispositivos inteligentes capaces de aplicar AI en los procesos agrícolas. Existen numerosos estudios sobre aplicaciones ciber-físicas de AgriTech para tareas relacionadas con la tierra y las plantas que desarrollan plataformas, algoritmos para robots y sistemas de apoyo a la decisión. Estas aplicaciones se presentan, por ejemplo, como una plataforma privada habilitada por el Internet de las Cosas (IoT) para la investigación en los dominios de la agricultura de precisión y la supervisión ecológica (Popović et al. 2017, citado en Spanaki et al., 2021). Ejemplo por categoría se pueden visualizar en la Tabla 22.

Tabla 22 Ejemplos concretos de aspectos ciber-físicas de AgriTech clasificados por tipo de operación y área de aplicación. Fuente: Elaboración personal, ejemplo obtenidos de (Spanaki et al., 2021).

Aspectos ciber-física de AgriTech						
Tipo de operación	Área de aplicación					
	Plataforma Analítica		Simulación virtual		Algoritmos propuestos	
	Plantas	Animales	Plantas	Animales	Plantas	Animales
Agua	Limitado*	Ausente*	Limitado*	Ausente*	Limitado*	Ausente*
Aéreo	Limitado*	Ausente*	Limitado*	Ausente*	Limitado*	Ausente*
Tierra		Implementación de una alimentación por llamada para cerdas preñadas como extensión modular de un alimentador electrónico convencional, todo se comunica a través de una red (Manteuffel et al., 2011)	Modelo de elementos discretos (DEM por sus siglas en inglés) para simular una herramienta de labranza profunda y su interacción con el suelo para abordar las capas de suelo estratificadas en los campos agrícolas (Zeng et al. 2017)		Algoritmos de aprendizaje automático y robótica como por ejemplo sistemas de observación automática de la fase de espigado del trigo basados en la visión por ordenador (Zhu et al., 2016)	
			Potencial del uso de la visión estereoscópica binocular basada en el área para el análisis tridimensional (3-D) de plantas individuales y la estimación de atributos geométricos como la altura y el área foliar total (Andersen et al., 2005)		Aplicaciones robóticas de reconocimiento de malas hierbas para la agricultura de precisión en pastizales (Kounalakis et al. 2019)	
Combinación	Utilizaron un vehículo aéreo no tripulado para visualizar y cuantificar los cambios físicos del suelo y su influencia en la morfología de la superficie con una resolución submilimétrica (Manteuffel et al., 2011)					
		Clasificar los patrones de comportamiento del ganado registrados mediante sistemas de collar con acelerómetro y magnetómetro de tres ejes, instalados en vacas lecheras individuales para inferir sus				



		comportamientos físicos (Dutta et al., 2015)				
--	--	--	--	--	--	--

\* La revisión de [Spangki et al. \(2021\)](#) indicó que las aplicaciones analíticas de AgriTech en los estudios aéreos y e hídricos de los sistemas ciber físicos para las plantas son muy limitadas, mientras que para los animales están ausentes

El sector agrícola se encuentra en una posición, en la cual se ve afectado por el cambio climático, pero también es un sector que contribuye a él. En el contexto de cambio climático las prácticas tradicionales son cada vez más difíciles de mantener, prácticas que muchas veces ayudan a contribuir con el fenómeno climático. Dado esto, es que las tecnologías en el sector agrícola (como las anteriormente mencionadas pro cada categoría en AgriTech) ayudan a romper el ciclo, encontrando formas únicas de abordar el equilibrio entre la seguridad alimentaria mundial para una población cada vez mayor y la necesidad de sostenibilidad en el sistema junto con la reducción de la huella ambiental (McKenie, 2021)

### **Comentarios Finales**

Múltiples desafíos enfrentan los sistemas alimentarios, entre ellos la seguridad alimentaria y los impactos que conlleva al cambio climático, que requerirá una transformación basadas en la innovación y sistemas de conocimiento (Dinesh et al., 2021; Tyfield, 2011). Dinesh et al, 2021 reconoce 9 áreas prioritarias para la transformación de los sistemas alimentarios bajo cambio climático, (1) Empoderar a las organizaciones de agricultores y consumidores, las mujeres y los jóvenes; (2) Servicios informados sobre el clima habilitados digitalmente; (3) Prácticas y tecnologías resistentes al clima y de bajas emisiones; (4) Financiamiento innovador para apalancar las inversiones del sector público y privado; (5) remodelación de las cadenas de suministro, venta minorista de alimentos, marketing y adquisiciones; (6) Fomentar políticas e instituciones habilitadoras; (7) Transferencia de conocimientos; (8) Abordar la fragmentación en los sistemas de conocimiento e innovación; (9) Garantizar la seguridad alimentaria. Muchas de las áreas prioritarias se conectan directamente con soluciones asociadas a tecnologías y/o innovación disruptiva, tanto desde la perspectiva de la demanda de alimentos como de mejoras en la eficiencia de producción de alimentos, que se asocia de manera más cercana a las AgriTechs.

## 4.5.Recomendaciones sobre como promover una lista priorizada + de tecnologías disruptivas y/o innovadoras

En esta sección se propone una metodología de toma de decisiones para la priorización de tecnologías disruptivas y/o innovadoras en el contexto de reducción de emisiones del sector agricultura para Chile a través de un Análisis de decisión Multicriterio (MCDA, por sus siglas en inglés), aplicando el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), el cual permite la construcción de la función de utilidad para la evaluación de alternativas que tienen impactos en múltiples atributos de interés para el tomador de decisiones.

### 4.5.1. Descripción metodológica de MCDA y AHP

El AHP fue creado por Thomas L. Saaty (Saaty, 1977), es una metodología que permite tomar decisiones entre múltiples alternativas o generar un ranking entre ellas al comparar la relevancia de elementos cualitativos y/o cuantitativos. El AHP es un método de trabajo que facilita la toma de decisiones cuando existen múltiples criterios o atributos, esto mediante la descomposición en una estructura jerárquica, es decir, permite subdividir un atributo complejo en uno más sencillo, y determinar cómo influyen cada uno de estos atributos en el objetivo de decisión a través de la asignación de valores que se atribuye a cada uno de los subcriterios (Berumen & Redondo, 2007). Por ejemplo, como se puede ver en la Figura 11, las tecnologías disruptivas y/o innovadoras (alternativas en Figura 11 **Error! Reference source not found.**), estarán evaluadas según su desempeño para cada subcriterio, para luego consolidar esta evaluación por medio de la determinación de un peso relativo a cada subcriterio, este proceso se repite para los criterios, obteniendo así una evaluación del desempeño integral de cada alternativa en una escala común.

Para el establecimiento del Modelo Jerárquico, es decir, los criterios y subcriterios que influenciarán en la toma de decisiones, es necesario definir el objetivo por el cual se está priorizando las mejores alternativas, pudiendo ser en este caso, priorización de medidas eficientes para la reducción de emisiones del sector agricultura.

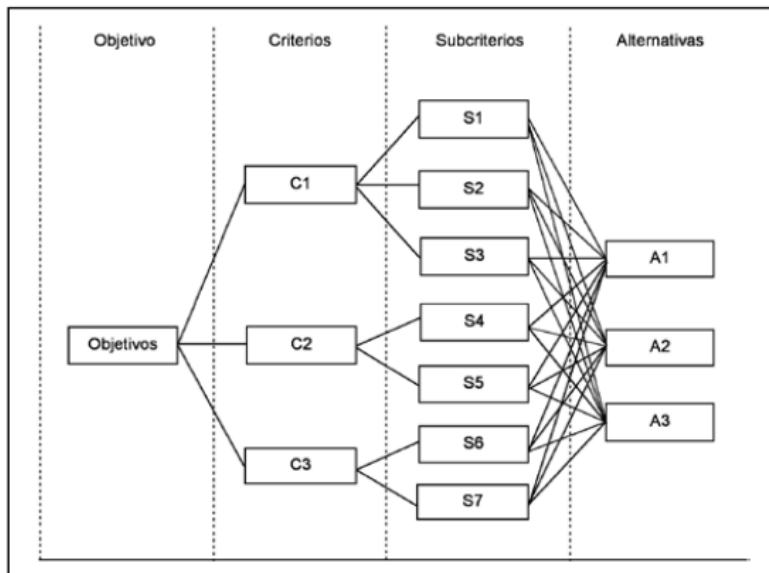


Figura 11 Métodos jerárquico para la toma de decisiones con el AHP (Berumen & Redondo, 2007)

Una vez definido el objetivo, las recomendaciones metodológicas en la definición de los criterios y subcriterios, y la definición del peso relativo en base a otro (comparación ente pares) debiesen ir acompañadas de procesos participativos, considerando la visión de los distintos stakeholders, como elemento relevante dentro del proceso de Análisis de Decisión Multicriterio (Villar & Kuhlmann, 2015).

Tabla 23 Escala de importancia de Saaty (Saaty, 1977)

Nivel de la importancia	Definición
1	Igualmente importante
3	Levemente más importante
5	Más importante
7	Fuertemente más importante
9	Extremadamente más importante

Para asignar los pesos relativos de los subcriterios, se propone la aplicación una encuesta a actores claves que comprendan el contexto la relación de tecnologías disruptivas bajas en carbono e implicancias en el sector agrícola, principales desafíos y complejidades en la reducción de emisiones. Estos entrevistados manifestarán sus preferencias entre dos criterios (o subcriterios) definiendo el nivel de importancia relativo entre un subcriterio y otro, utilizando la escala de nivel de importancia, como se ve en la Tabla 23 definiendo preferencias como se presenta en Figura 12, generando una matriz de jerarquías que especifican el peso de cada criterio que influye en la toma de decisiones. Para realizar la jerarquía de criterios se asigna valores según nivel de importancia

relativa entre los subcriterios en la evaluación de medidas de tecnologías disruptivas y/o innovación para la reducción de emisiones.

Subcriterios	Nivel de importancia de los criterios									Subcriterio	
	9	7	5	3	1	3	5	7	9		
Costo de Abatimiento											Generación de empleo

Figura 12 Ejemplo de “Comparación entre pares” entre 2 subcriterios.

Una vez realizada la encuesta por parte de los actores relevantes, se crea la matriz de decisión de preferencia de criterios, calculando el peso relativo de cada criterio ponderado por cada encuestado a través del método del recíproco.

Una vez definidas las tecnologías disruptivas que se desea priorizar, se debe evaluar cada alternativa bajo los subcriterios definidos para la toma de decisiones. Para esto se proponen dos metodologías:



Figura 13 Metodologías de Evaluación de alternativas para alternativas de tecnologías disruptivas y/o innovadoras (Elaboración Propias)

En el caso de los subcriterios con métricas **cuantitativas** (ej.: potencial de mitigación) se utilizará la **Teoría de Utilidad de los Atributos Múltiples (MAUT**, de sus siglas en inglés), para llevar a una métrica común los valores de cada subcriterio. El Método de Análisis Multicriterio Múltiple (MAUT), permite la evaluación de cada alternativa bajo un cierto criterio. Se puede aplicar en los casos cuando los datos son disponibles y representativos del resultado del criterio a evaluar. Esta teoría se apoya sobre la teoría económica de las utilidades. La evaluación de cada tecnología disruptiva y/o innovadora bajo cada subcriterio se hace en términos

de utilidad, lo que se propone representar con una adaptación metodológica que lo deja la siguiente forma.

**Ecuación 1 Formula de MAUT para expresar en utilidad valor subcriterio i**

$$U_{i,j} = a_i * p_{i,j} + b_i$$

Donde:

- $a_i$  y  $b_i$  para el subcriterio  $i$  tienen un valor tal que la peor nota sea 0 y la mejor nota sea 100.
- $p_{i,j}$  el valor cuantitativo en escala original de la alternativa de estrategia  $j$  bajo el subcriterio  $i$ .

En el caso de los subcriterios que no cuenten con métricas **cuantitativas** (ej: co-beneficios en salud), se utilizará el apoyo de expertos para la valoración de cada tecnología disruptiva y/o innovadora, utilizando la **Teoría Simple de Clasificación de Atributos Múltiples (SMART)**, de sus siglas en inglés), para luego llevar a la misma escala de utilidad mediante MAUT. La **Teoría Simple de Clasificación de Atributos Múltiples (SMART)**, es un tipo de análisis multicriterio útil cuando no existen datos disponibles para evaluar cuantitativamente las alternativas para un mismo subcriterio, este método valoriza las puntuaciones de cada tecnología disruptiva y/o innovadora en base a la evaluación de expertos. En estos casos los expertos evaluarán el resultado  $p_{ij}$  de una alternativa  $j$  bajo un subcriterio  $i$ , dando una nota de 1 y 7, 1 siendo la peor nota. Luego esta nota se transforma utilizando la Ecuación 2 (del método MAUT), quedando de esta manera todos los puntajes en la misma escala de 0 a 100. Por lo que virtualmente el puntaje máximo que podría obtener una alternativa es 100 y el mínimo es 0.

Una vez generadas las Matriz de Jerarquía para la toma de decisiones por grupo de actor, y la evaluación cualitativa y cuantitativa de cada de las medidas, se obtiene un valor para cada medida  $j$  ( $V_j$ ), a través de la sumatoria de la multiplicación del valor ponderado ( $P_{ij}$ ) de cada subcriterio de la Matriz de Jerarquías, por el puntaje obtenido de la medida para ese subcriterio ( $U_{ij}$ ), siendo la medida con mayor puntaje la mejor evaluada, y la de menor puntaje, la peor evaluada, generando una lista priorizada de medidas.

$$V_j = \sum (P_{ij} \times U_{ij})$$

#### **4.5.2. Recomendaciones para la aplicación del MCDA para la priorización de alternativas de tecnologías disruptivas y/o innovadoras para el sector Agricultura**

En base a la metodología descrita en la sección anterior, se realiza una propuesta de elementos relevantes a considerar en el proceso y aplicación de la metodología en el contexto del sector y la naturaleza de las alternativas a seleccionar.

##### **Recomendaciones para la definición del Modelo Jerárquico para la toma de decisiones con AHP:**

El establecimiento de los componentes del Modelo Jerárquico (modelo de toma de decisiones), implica la definición del objetivo, para identificar los criterios y subcriterios que compondrán el modelo de toma de decisiones.

Para la definición del objetivo en el contexto de este estudio, se debe analizar los distintos componentes a los cuales se quiere responder y el motivo por el cual se desea realizar una evaluación. En su contexto más general, el objetivo a lo que debe **apuntar la priorización de alternativas de tecnologías disruptivas y/o innovaciones como opciones de nicho para la promoción de un desarrollo bajo en emisiones, con especial foco en las emisiones del sector agricultura, maximizando el beneficio social, ambiental y económico.**

Una vez identificado el objetivo, se deben establecer los criterios y subcriterios que buscan identificar como afectan cada uno de estos para la toma de decisión y alcanzar el objetivo. Para esto, se realizó una revisión de las principales directrices y/o compromisos nacionales en términos de reducción de emisiones, y de desarrollo, como también revisión de estudios que evalúen alternativas de mitigación, con el objetivo de identificar criterios para la toma de decisiones.

Chile, a través de su Contribución Nacional Determinada presentada el año 2020 ante la CMNUCC se ha comprometido a reducir sus emisiones, fijando un presupuesto de emisiones para el periodo 2020-2030 de 1100 MtCO<sub>2</sub>eq (Gobierno de Chile, 2020). Dado que el sector agricultura forma parte de los sectores a los que aplica el compromiso M1 de mitigación, y que esta transformación hacia la descarbonización se debe realizar bajo el pilar social de transición justa, implica que las acciones deberán maximizar sinergias con ciertos ODS's, que buscan un desarrollo socioambiental sustentable, minimizando los posibles impactos

negativos en los grupos más vulnerables, sin dejar grupos marginados que pudieran verse afectados, es decir, se deben considerar dichos criterios para analizar alternativas que busquen reducir emisiones.

Por otro lado, las opciones que se busquen deben estar alineados con las políticas de desarrollo sectoriales, plasmado en los 5 ejes ministeriales del Ministerio de Agricultura, siendo estos; (1) desarrollo rural y agricultura familiar, (2) Producción sustentable, agua y cambio climático, (3) Sistemas y seguridad alimentaria, (4) asociatividad y cooperativismo moderno y (5) modernización innovación y competitividad<sup>28</sup>.

Distintos criterios han sido evaluados para la selección de tecnologías disruptivas y/o innovadoras en la agricultura bajo distintos enfoques. Elementos asociados a los posibles riesgos que puedan presentar, asociados principalmente a los riesgos digitales, definidos como consecuencias no favorables de adopción de tecnologías disruptivas, tal como ciberseguridad, riesgo de fuerza laboral, riesgo de automatización, entre otros (Popchev & Radeva, 2020). El estudio identifica una serie de criterios para evaluar distintos riesgos asociados a la adopción de tecnologías disruptivas en la agricultura, con foco en las AgriTech's, entre ellos, riesgos de seguridad y privacidad de datos, cambios en el mercado laboral, distracción mental, manipulación, fragmentación, responsabilidad y contabilidad, ética, ecología y ecosistemas, cambios en la estructura de costos/ingresos y propiedad de activos.

Otro estudio evalúa los rasgos o atributos valiosos de innovaciones disruptivas bajas en carbono (LCDI, por sus siglas en inglés) valorados por los consumidores. El estudio define 4 tipologías de atributos que generan las LCDI, si generan un beneficio público o privado, y si el atractivo de la LCDI es una preferencia por su funcionalidad o por simbólico (por lo que representa). Para el caso de las LCDI de en alimentos, los consumidores tendieron a valorar el atributos por los beneficios públicos que generan, es decir, son atractivas por los beneficios sociales y a la comunidad local. Estos elementos son relevantes para la evaluación de medidas efectivas. También elementos socio-culturales, son altamente relevantes al momento de implementar nuevas tecnologías (Spanaki et al., 2021).

Por otro lado, existen elementos relevantes a considerar al priorizar medidas de mitigación (en línea con el objetivo de priorización), factores económicos, tal como financiamiento o costo-efectividad, factores políticos, tal como la

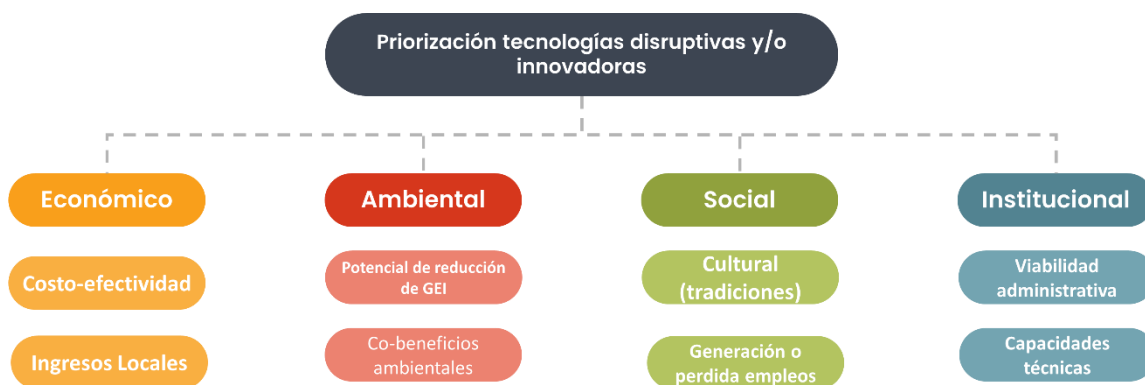
---

<sup>28</sup> <https://cuentapublica.minagri.gob.cl/>



capacidad de red de implementación, viabilidad administrativa, y ambientales, tales como contribución directa a la reducción de emisiones, han sido elementos considerados para la toma de decisiones al evaluar políticas y/o programas de mitigación al cambio climático (Konidari & Mavrakis, 2007).

En relación con la revisión anterior, se propone una matriz de jerarquía (marco de decisiones) para la priorización de tecnologías disruptivas y/o innovadoras en base a cuatro criterios principales, económico, Ambiental, social e institucional como se puede ver en la Figura 14. El criterio económico está compuesto por dos subcriterios, la costo-efectividad de la tecnología disruptiva,



**Figura 14 Matriz de Jerarquía propuesto para la priorización de alternativas de tecnologías disruptivas y/o innovadoras en la agricultura**

La matriz de jerarquías propuesto basado en revisión, integra los elementos relevantes identificados en la diversidad de subcriterios. Por ejemplo, basados en los elementos relevantes para el cumplimiento de metas de la NDC bajo transición justa, los atributos de mitigación se ven reflejados en los indicadores de costo-efectividad, potencial de reducción de GEI, y aquellos atributos de transición justa se ve reflejado en los subcriterios sociales, ambientales y económicos, como por ejemplo generación o pérdida de empleo, co-beneficios ambientales e ingresos locales. Los subcriterios reflejan los lineamientos de desarrollo del ministerio de agricultura en todos los criterios, se reflejan principalmente en los criterios institucionales y sociales. Respecto a los posibles riesgos que puedan presentar la implementación de tecnologías disruptivas, se reflejan en los subcriterios sociales e ingresos locales.

Es relevante mencionar que la matriz de decisiones considera alternativas de

intervención en el territorio, y no así acciones o medidas habilitadoras, que busquen aumentar conocimientos o fortalecer capacidades para llevar a cabo las medidas de acción. Sin embargo, se recomienda realizar un levantamiento exhaustivo de los subcriterios a través de un proceso participativo que incluya la mirada de un grupo ampliado de actores.

#### 4.6. Análisis y propuestas de desarrollo de las acciones de interés para el Sector Agricultura.

En la siguiente sección se realiza una breve revisión de los lineamientos y directrices que guían la mitigación al cambio climático del sector agricultura, en específico las emisiones categorizadas como Sector Agricultura en el Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero 1990-2018. Posteriormente, se realiza una caracterización general de las dos acciones prioritarias identificadas en los distintos lineamientos para el sector:

- Biodigestores de Purines Porcinos
- Asistencia Técnica para el uso de fertilizantes

Se realiza una revisión, caracterización general y diagnóstico del entorno, de los siguientes componentes:

- **Mapeo Stakeholders y roles:** Se construirá un mapa de actores relacionados que se vean vinculados a las actividades de mitigación propuestas, incluyendo al sector público, sector privado, sociedad civil, entre otros.
- **Diagnóstico del estado actual:** Se revisará la evolución de la implementación de dicha tecnología/acción a nivel nacional y el potencial hacia el futuro.
- **Capacidades tecnológicas para la implementación:** Revisión de las capacidades tecnológicas sectoriales para la implementación de la medida.
- **Análisis regulatorio:** Revisión de las políticas y regulaciones actuales que promuevan o limiten la implementación de la actividad/medida.
- **Potencial de mitigación:** Estimación de las reducciones de GEI esperadas asociadas a esta medida y cuánto podría ser el potencial de mitigación máximo.
- **Análisis de costos de mitigación:** Estimación de costos y retornos de inversión para alcanzar las metas propuestas en la NDC
- **Análisis financieros de la implementación:** Análisis de la estrategia de financiamiento actual y propuesta de alternativas de fortalecimiento.
- **Medios de implementación:** Diagnóstico de los medios de implementación disponibles y alternativas para mejorarlos.
- **Identificación y cualificación de Co beneficios:** ¿Existen co-beneficios ambientales y/o sociales asociados a la medida? Se considerarán al menos co-beneficios en Agua (consumo y calidad), Aire (ej.: Emisiones NOx y NH3), Biodiversidad (menos fertilizantes, baja requerimiento de pesticidas), Empleo, Salud (menor consumo de carne) y Adaptación al cambio

climático. Adicionalmente cada uno de estos ámbitos se cualificarán, pudiendo tener un impacto positivo, neutro, negativo o no determinado.

- **Identificación de los desafíos:** Identificación de los principales riesgos y oportunidades.

En base al análisis anterior, se propone una hoja de ruta para la implementación de medidas.

#### **4.6.1. Lineamientos en mitigación del Sector Agricultura en Chile**

Al año 2019, en Chile, los instrumentos o directrices existentes que expresarían compromisos o reducciones para el sector agricultura, se presentan en el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022, en su línea de Acción N10 "Acciones de Mitigación del Sector Silvoagropecuario", el compromiso se encuentra ligado a acciones específicas de la ENCCRV, sin embargo, bajo la contabilidad de emisiones del Sector Agricultura (presentadas en la introducción de la sección 4 Mitigación, y detalladas en el Anexo 6.2), no reflejaría una reducción de las emisiones propias del sector, si no que el énfasis de las reducciones se encuentran ligadas al sector UTCUTS (Gobierno de Chile, 2017). Se menciona también que diversas instituciones dependientes del Ministerio de Agricultura (FIA, INIA, INDAP e INFOR) se encuentran desarrollando acciones de transferencia tecnológica, innovación y apoyo financiero a pequeños y medianos productores con el fin de potenciar la productividad y competitividad de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales

En año 2020, el Ministerio de Agricultura presentó la Estrategia de Sustentabilidad Agroalimentaria, que se estructura en distintos ámbitos de acción y objetivos estratégicos, ente ellos, el ámbito de Cambio Climático, en el cual establece como objetivo la promoción de un desarrollo agroalimentario adaptado, resiliente y bajo en emisiones, que se concreta a través de ejes de acción. Respecto a los ejes de acción relacionados a mitigación, se declara que se promoverán medidas de mitigación para reducir gases efecto invernadero, como buenas prácticas en el uso de fertilizantes, gestión del estiércol, biodigestores y la elaboración del plan de mitigación para el sector, como además fomentar medidas de captura de carbono en suelos. Lo anterior sujeto a la aprobación de la Ley Marco de Cambio Climático que establecerá presupuesto para dicho efecto (Ministerio de Agricultura, 2020).

Durante el año 2021, Chile presentó la Estrategia Climática de Largo Plazo, con miras a alcanzar la carbono neutralidad al 2050. En este documento se establecen

metas de reducción de emisiones para varios sectores, entre ellos el sector agricultura, define en su objetivo 3 fomentar sistemas agroalimentarios bajos en emisiones GEI y a través de uso eficiente y sustentable de los RRNN asegure la producción de alimentos de origen agropecuario. Entre las metas propuestas se establece al 2025, la elaboración del Plan de uso eficiente de fertilizantes nitrogenados, contar con un 75% de los purines de cerdo con tratamiento de abatimiento para emisiones GEI, contar con estándares de sustentabilidad para el sector pecuario, incorporar prácticas para el manejo agroambiental de suelos, planes de reducción de pérdidas de alimentos, cambios en las prácticas tradicionales de la agricultura, entre otros (Gobierno de Chile, 2021).

#### **4.6.2. Asistencia Técnica para el uso de Fertilizantes**

Los fertilizantes, incluidos los de origen mineral, sintético y orgánico, son insumos importantes y altamente utilizados en la agricultura que ayudan a contribuir con la seguridad alimentaria mundial, los medios de vida de los agricultores y la nutrición humana. La debida utilización de los nutrientes también puede favorecer la producción de biomasa y contribuir a aumentar la materia orgánica de los suelos y la salud de estos. Sin embargo, si estos no son utilizados correctamente, tienen el potencial de contribuir al cambio climático, la degradación del suelo, los recursos hídricos y la calidad del aire y el agotamiento de los nutrientes del suelo, así como posibles daños de la salud humana, animal y de los suelos. Se ha estudiado también las alteraciones de los flujos bioquímicos de nitrógeno y fósforo debido a la utilización de fertilizantes para uso agrícola que han excedido los márgenes de seguridad para las actividades humanas (FAO, 2019).

Específicamente en Chile, los actores relacionados al uso de fertilizantes son en primer lugar los productores agrícolas del país (personas naturales o jurídicas), luego la entidad gubernamental que fiscaliza su uso: el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) del Ministerio de Agricultura, y finalmente las empresas oferentes que comercializan los fertilizantes en el país. Chile es un importador neto de fertilizantes, el modelo interno se caracteriza por presentar una estructura oligopólica, con muy pocas empresas oferentes (MINAGI, 2018).

A nivel nacional existe un programa llamado "Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S) Ley 20.412". El Programa de Recuperación de Suelos es un instrumento de fomentos del Ministerio de Agricultura, establecido en el 2010 por un lapso de 12 años. El

Programa es coordinado por la Subsecretaría de Agricultura y ejecutado por el SAG y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) que propone “recuperar el potencial productivo de los suelos agropecuarios degradados y mantener los niveles de mejoramiento alcanzados. Para lograr su objetivo, se provee un aporte económico, no reembolsable, destinado a cofinanciar aquellas actividades y prácticas que eviten que los suelos se retrotraigan por debajo de los niveles mínimos técnicos ya alcanzados. Las actividades que con-financia el programa son: i) Incorporación de fertilizantes de base fosforada, ii) Incorporación de elementos químicos esenciales, iii) Establecimiento de coberturas vegetales en suelos descubiertos o deteriorados, iv) Empleo de métodos que eviten la pérdida y erosión de los suelos, favoreciendo su conservación y, v) Eliminación, limpieza o confinamiento de impedimentos físicos o químicos” (Dirección de Presupuestos, 2020a).

Según la Ficha de evaluación Ex Ante de Programas Públicos 2021 (Dirección de Presupuestos, 2020b), se señala que la población potencial del Programa para INDAP alcanza a 270.000 agricultores, es decir a la totalidad de los agricultores familiares. Por lo tanto, INDAP concluye que la población potencial de los agricultores familiares en términos de hectáreas corresponde a 2.119.778,5 ha (superficie total de las explotaciones), esto, de acuerdo a La Evaluación de Impacto SIRSD 2016. Y según la Ficha de evaluación Ex Ante de Programas Públicos 2020 (Dirección de Presupuestos, 2019), desde la creación del Programa en 2010 y hasta el 2018, entre el SAG e INDAP se ha bonificado un total de 1.358.608 hectáreas.

Considerando lo anterior, el uso adecuado de fertilizantes en suelos agrícolas tiene el potencial de recuperar suelos, pero en el caso de exceder la utilización de fertilizantes para uso agrícola de los márgenes de seguridad para actividades humanas, se pueden generar también alteraciones de los flujos bioquímicos de nitrógeno y fósforo. Teniendo esto presente, Chile es uno de los mayores consumidores de fertilizantes en nitrogenados por hectárea en las Américas (Martín, 2017 citado en Marquet et al., 2020) y ocupa el tercer lugar en el consumo de fertilizantes tanto nitrogenados como fosfatados entre los países del consejo agropecuario del sur (CAS) (Conde Prat et al., 2009, citado en Marquet et al., 2020).

Según el informe “Las tres brechas del desarrollo sostenible y el cierre de la brecha ambiental en Chile: Oportunidades para una recuperación post pandemia más sostenible y de bajo carbono en ALC” (Marquet et al., 2020) que evaluó el estado de los límites ambientales en el país. En el caso del límite asociado a la cantidad

de nitrógeno total utilizando en fertilizante, Chile se encuentra transgredido en un 75% el respecto al límite superior nacional (1,49E+08 Kg N a-1). Respecto del uso de fósforo, e país se encuentra transgredido en un 290,7% respecto del límite superior nacional (2,03E+07 Kg P a-1). En base a esto, en el informe se estudiaron las implicancias para el desarrollo agrícola en caso de que se cumplieran los límites planetarios. Se simuló una disminución en las dosis aplicadas a los cultivos de maíz y trigo para cumplir con los límites al 2030, las simulaciones se realizaron bajo dos tipos de intervenciones: "reducción de fertilización inorgánica" y "reducción de fertilización inorgánica y aumento de orgánica".

Una forma de abordar la asistencia técnica para el uso de fertilizantes en el sector agrícola está contemplada en el Programa SIRSD-S, así también por medio del trabajo de Marquet et al. (2020) se dejó en evidencia la importancia a nivel nacional que existe para disminuir el uso de fertilizantes en la agricultura. Estos puntos son considerados en tres medidas abordadas en el modelo de proyección de emisiones del sector agricultura elaborado por el Centro de Cambio Global UC, para el periodo 1990-2050, desarrollado en el software Analytica de Lumina.

Las medidas relacionadas están definidas en la Tabla 24 donde se presenta una descripción de la medida, el potencial y los costos de mitigación.

**Tabla 24. Medidas de mitigación relacionadas al uso de fertilizantes en Chile. Fuente: elaboración propia.**

<b>Nombre medida</b>	<b>Descripción general</b>	<b>Potencial de Mitigación (M tCO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>Costos de mitigación (USD/tCO<sub>2</sub>eq)</b>
Uso eficiente del Fertilizante	Disminución del uso de fertilizantes nitrogenados agregados a cultivos, a través de mejoras en la utilización, reduciendo las emisiones de Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O), considerando una reducción del 11% en la intensidad de uso al 2040 para ciertos cultivos	4.57	-123
Reducción de quemas agrícolas.	Reducción de la superficie agrícola en la cual se realizan quemas agrícolas, llegando a reducir un 80% de	0.57	-344

	la superficie quemada actual al 2029, comenzando el 2025.		
Aplicación de Enmiendas orgánicas	Aumento en la captura de carbono en suelos producto de la aplicación de enmiendas orgánicas (guano de aves de corral) aplicadas en suelos de cereales, partiendo la implementación el año 2029, llegando a un 10% de la superficie al 2034, y manteniéndose constante hasta el 2050. Se consideran las emisiones asociadas al contenido de nitrógeno	1.18	148

Las implementaciones de las medidas mencionadas con anterioridad generaran co-beneficios ambientales, esto al considerar que, pese a que la aplicación de fertilizantes favorece la producción de cultivos, su uso excesivo genera impactos adversos en la salud humana y el medio ambiente, donde por ejemplo se produce contaminación y eutrofización en sistemas dulceacuícolas y marinos dado por que aproximadamente el 25% del nitrógeno aplicado en el suelo se pierde por lixiviación o escorrentía (Zhang et al., 2015, Dao et al., 2015 citado en Marquet et al., 2020)

Por otro lado, por la quema de rastrojos se desaprovecha el 98% a 100% del nitrógeno contenido en el residuo de la cosecha, 20% a 40% del fósforo y potasio y 70% a 90% del azufre (Taladriz y Scwember, 2012 citado por Dirección de Presupuestos, 2019), por lo que la reducción de dichas quemas generaría un ahorro económico para los productores en la compra de fertilizante.

Un punto importante, es que en el caso de que se considerará la disminución del uso de fertilizantes con el fin de cumplir con el límite ambiental, tal como se señala en el informe de Marquet et al. (2020) esto podría significar una disminución de los rendimientos de los cultivos. En el caso del Maíz entre un 15 a 42% y en el caso del trigo entre un 28 a 53%.

### **Propuesta de Hoja de Ruta**

Visión de la Hoja de Ruta



“Al 2025, elaborar un plan nacional de uso eficiente de fertilizantes nitrogenados, que considere a lo menos los cultivos priorizados por el ministerio” (Gobierno de Chile, 2021)

Meta: “Al 2030, evaluar los resultados de la implementación del Plan de uso eficiente de fertilizantes nitrogenados” (Gobierno de Chile, 2021)

Para alcanzar la meta y sobre cumplir lo propuesto, se proponen 5 Ejes de Acción, que se describen en los siguientes puntos:

## **1. Instrumentos Regulatorios**

**Objetivo:** Identificar y evaluar instrumentos actuales vigentes que permitan fomentar el uso eficiente de fertilizantes en el país.

Meta 1.1 Evaluar a partir del uso de indicadores los actuales instrumentos existentes que directa o indirectamente apoyen en el uso eficiente de fertilizantes.

Meta 1.2 A partir de la evaluación, analizar si verdaderamente dichos instrumentos están aportando a mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes en campos agrícolas, y en específico en cultivos priorizados por el ministerio.

Meta 1.3 Evaluar la permanencia de los instrumentos vigentes actuales a partir de su desempeño.

## **2. Practicas existentes**

**Objetivo:** Identificar prácticas que actualmente utilizan los productores agrícolas que generan una baja eficiencia en el uso de fertilizantes provocando daños ecosistémicos y en la salud humana.

Meta 2.1 Identificar prácticas ligadas a la utilización de fertilizantes que desfavorezcan el crecimiento de los cultivos, y/o generen impactos ecosistémicos o en la salud humana con el fin de reemplaza dichas prácticas por técnicas más sostenibles.

Meta 2.2 Realizar una “Matriz de Riesgo-Recompensa-Costo de implementación” que organice las posibles soluciones al problema del nitrógeno en grupos basados en alto o bajo riesgo, alta o baja recompensa y alto o bajo costo de implementación.

Meta 2.3 Utilización de la “Matriz de Riesgo-Recompensa-Costo de implementación” para reemplazar prácticas agrícolas ligada la utilización de fertilizante poco sostenibles.

### **3. Tecnología e innovación**

Objetivo: Fomento a la investigación de nuevas prácticas técnicas o tecnologías aplicadas a los cultivos priorizados y suelos chilenos que permitan una mejora en la eficiencia de uso de nitrógeno.

Meta 3.1: Mejora de las prácticas agrícolas o investigación de nuevas técnicas que fomenten la sincronizan la demanda de N de los cultivos con la disponibilidad de N en el suelo.

Meta 3.2: Realizar una “Matriz de Riesgo-Recompensa-Costo de implementación” a partir de las nuevas prácticas y tecnologías incluidas.

### **4. Conocimiento y Capacidades**

Objetivo: transferencia de capacidades a pequeños y medianos propietarios en el uso eficiente de fertilizantes.

Meta 4.1 Reconocer a partir del uso de las matrices cuáles serán las prácticas más adecuadas a implementar por tipo de cultivo, suelo y zona geográfica del país.

Meta 4.1. Realizar capacitaciones en las distintas regiones del país con foco en los cultivos priorizados por el ministerio de agricultura.

Meta 4.3 Establecer un instrumento de fomento para acompañar a pequeños y medianos propietarios en la implementación de prácticas y conocimiento que permitan la utilización eficiente de fertilizantes.

### **5. Instrumentos Financieros y de fomento**

**Objetivo:** Identificación de instrumentos financieros y financiamiento para la implementación de la hoja de ruta.

Meta 5.1 Análisis para la facilitación de instrumentos de inversión pública o privadas para la implementación de prácticas y conocimiento que permitan la utilización eficiente de los fertilizantes en predios agrícolas.

Meta 5.2 Identificación de instrumentos de financiamiento climático para el apoyo e implementación de la hoja de ruta.

#### 4.6.3. Biodigestores de Purines Porcinos

La carne de cerdo representa alrededor de un 33% de la producción de carne mundial (FAO, 2021), actualmente Chile se encuentra dentro de los 15 principales países exportadores de carne de cerdo<sup>29</sup> para el 2020, con un exportación de \$724.9MM USD, con un 2% de las exportaciones totales mundiales, esperando un crecimiento sostenido para los próximos años<sup>30</sup>. Para el año 2020, las carnes porcinas representan alrededor de un 60% de las exportaciones (en valor) de las importaciones del sector. El principal país de exportación es China con una participación cercana al 37%, sin embargo durante el 2020 pasó a un 74.7%, principalmente por un aumento de precios producto de una mayor demanda y escenario sanitario afectado a la industria nacional de ese país (ODEPA, 2021). En los últimos 18 años, el crecimiento de la industria porcina a tenido un crecimiento muy relevante para las exportaciones del sector, creciendo un 4.217% y 7.436% más en valor (ODEPA, 2019).

A nivel nacional, las existencias de cabezas de ganado porcino ascienden a 2,881,192, del cual un 92% corresponde a animales de engorda y un 8% a reproductores, distribuidos entre las regiones de Valparaíso y la Región de Los Lagos, concentrándose en la región de O'Higgins, con más del 82% de las cabezas totales a nivel nacional. El número de criaderos ha disminuido en forma constante, hace 10 año se contabilizaban 75 establecimientos, mientras que la encuesta del primer semestre del 2021 registra un total de 39, sin embargo, el número de existencias de cabezas de ganado se ha mantenido relativamente constante en los últimos 8 años (Instituto Nacional de Estadísticas, 2021).

El estudio "Antecedentes para la elaboración de análisis económico de la norma de emisión de olores para el sector porcino" (DICTUC, 2019), realiza una caracterización general de los planteles a nivel nacional, a continuación se detallan algunos elementos relevantes de la industria. Se estima que existen alrededor de 104 planteles en Chile, el 43% de los planteles están operados por 5 compañías, el resto por otras compañías. Un 15% de los planteles de tamaño

---

<sup>29</sup> <https://www.worldstopexports.com/pork-exports-by-country/>

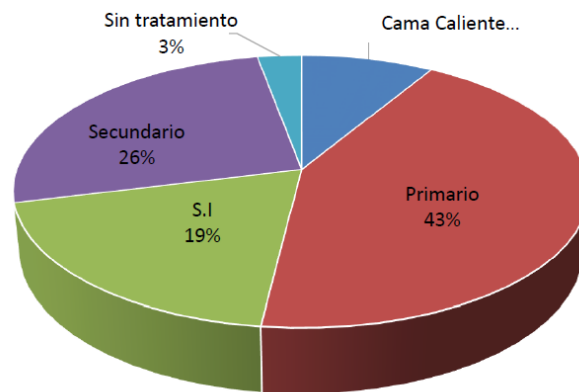
<sup>30</sup> <http://www.asprocer.cl/3203-2/>

grande (superior a 37.001 animales), un 25% de tamaño mediano (entre 12.501 a 37.001 animales), y un 44% son de tamaño pequeño (750 a 12.500 animales). A nivel de titular la empresa que opera más planteles es el Agrícola Super Ltda, representando un 21% de los planteles totales a nivel nacional).

Respecto al tipo de tratamiento, se identifican 3 tipos de tratamientos para catalogar los sistemas de tratamientos de purín:

1. Sin tratamiento:
  - a. Pozo homogeneizador
    - i. Abierto
    - ii. Cerrado
2. Tratamiento Primario:
  - a. Filtro parabólico
  - b. Filtro prensa/tornillo
  - c. Sedimentador
  - d. Decantador
  - e. Floculador
3. Tratamiento secundario:
  - a. Tratamiento aerobio
  - b. Lombrifiltro
  - c. Lodos activados
  - d. Biodigestor

Respecto a la distribución de los planteles según tipo de tratamiento, un 43% de los planteles solo cuenta con un tratamiento primario de los purines y un 27% posee un tratamiento secundario, un 8% bajo tratamiento tipo camas calientes, un 2,8% sin tratamiento y un 19% no se cuenta con información.



**Figura 15 Distribución de los planteles según tipo de tratamiento ((DICTUC, 2019)**

Un 44% de los planteles que cuentan con un tratamiento secundario, poseen biodigestores como tecnología implementada, distribuidos por tamaño del plantel, corresponde que un 38% de los planteles grandes, 50% de los planteles medianos y un 25% de los planteles pequeños cuentan con un biodigestor de los planteles que cuentan con tratamiento secundario.

Según el estudio, la exigencia de la nueva normativa de emisión de olores para el sector porcino, al menos 1 plantel grande y 13 medianos deberán implementar tratamientos secundarios, realizando la recomendación por costo-efectividad, la implementación de biodigestores dentro de sus sistemas de tratamiento de purines. El periodo de implementación límite para realizar las modificaciones y cumplimiento de las emisiones de olores, es de 3 años una vez promulgada la nueva normativa de manera oficial. Si bien el anteproyecto se encuentra aprobado, no existe información respecto a la fecha de publicación de dicha Ley, sin embargo, ayudaría a avanzar de manera sustancial a la implementación de biodigestores.

Por otro lado, si bien un 44% de los grandes planteles posee el sistema de Biodigestor como tratamiento secundario, existe un potencial que maneja los purines bajo otros métodos, tales como lodos activados, o tratamiento aerobio, que, aunque cumplen con la nueva normativa propuesta, podrían existir algún mecanismo de fomento para cambiar dicha tecnología a un método bajo biodigestor.

Se estimó el potencial de mitigación de la implementación de la medida considerando la meta considerada en la Estrategia Climática de Largo Plazo, en el

objetivo 3, meta 3.11, que indica que al 2030 aumentar en un 30% la cantidad de biodigestores instalados respecto al 2021 (referencia estado actual, 26% de las cabezas), decir alcanzar un 34% de las cabezas porcinas bajo manejo secundario de biodigestores.

Se realizó una estimación del costo de abatimiento de las reducciones en base a la estimación del CAPEX y OPEX, utilizados en el estudio (Benavides et al., 2021), considerando que al 2030, un 34% de las cabezas de ganado porcinas sus purines se encuentran bajo sistema secundario biodigestor, y que al 2040, se alcanza un 50% de las cabezas de ganado, manteniéndose constantes al 2050.

**Tabla 25 Estimación del potencial de mitigación y costo de abatimiento de reducciones de GEI en la implementación de biodigestores al 2050.**

<b>Potencial de Mitigación (M tCO2eq)</b>	<b>Costos de mitigación (USD/tCO2eq)</b>
10.24	2.43

### **Propuesta de Hoja de Ruta**

#### **Visión de la Hoja de Ruta**

“ ... al 2030 la industria porcina impulse una transformación hacia un desarrollo sostenible, justo y participativo, a través de la gestión responsable, innovadora y eficiente de los recursos naturales y de su entorno, fomentando la creación de empleos verdes a lo largo del país ... ”

Meta: Al 2030, al menos un 36% de las cabezas de ganado porcino, manejen sus purines bajo el sistema de biodigestores, reduciendo las emisiones de GEI.

Para alcanzar la meta y sobre cumplir lo propuesto, se proponen 4 Ejes de Acción, que se describen en los siguientes puntos:

#### **6. Instrumentos Regulatorios**

**Objetivo:** Identificar y evaluar instrumentos actuales vigentes que permitan fomentar y facilitar la transformación de la industria a la implementación de biodigestores.

Meta 1.1 Evaluar la agilización y simplificación de los procedimientos administrativos para la aprobación de permisos ambientales a través del SEIA, para proyectos de implementación de biodigestores. Elaboración de una guía

Meta 1.2 Diseño y elaboración de "Guía tramite PAS de Biodigestores de Purines Porcinos"

Meta 1.3 Evaluar posibles herramientas/instrumentos de fomento a la producción, comercialización y uso de biogás producido en biodigestores

Meta 1.4 Evaluación de fortalecimiento de multas y aumento de fiscalización para planteles que no cumplan con la normativa asociada a calidad de aguas en la descarga de disposiciones líquidas.

## **7. Economía Circular**

**Objetivo:** Identificar y fomentar potenciales sinergias con otras industrias los desechos/subproductos que genera la industria porcina en otros sectores, tal como agricultura y energía.

Meta 2.1 Analizar barreras de instrumentos normativos y/o facilitar la información para el cumplimiento de la norma y autorización para la aplicación de disposición sólida y líquida de purines procesados a la pequeña y mediana industrial, para fomentar la economía circular de disposiciones finales.

Meta 2.2 Promover la utilización de biogás a nivel local

## **8. Tecnología e innovación**

Objetivo: Fomento al desarrollo de nueva tecnología aplicada al caso chileno, para la reducir los costos asociados a biodigestores

Meta 4.1: Diseñar y evaluar proyectos piloto para pequeños y medianos productores (planteles), con el objetivo de promover economías a escala para la implementación de biodigestores.

Meta 4.2: Fomentar investigación I+D para la mejora de diseño e implementación de biodigestores aplicados al contexto local.

## **9. Conocimiento y Capacidades**

**Objetivo:** Profundizar conocimientos y fortalecimiento de capacidades a nivel nacional, para apoyar la transformación de la industria basado en la ciencia

**Meta 4.1.** Realizar evaluación del potencial de generación eléctrica a partir de

biogás generado bajo escenario de transformación, para proponer metas en relación con la producción de biogás.

Meta 4.2- Analizar potencial de mitigación de la aplicación de enmiendas orgánicas (a partir de estiércol de ganado porcino) en suelos, como co-beneficio de mitigación extra.

Meta 4.3 Establecer un instrumento de fomento para acompañar a pequeños y medianos propietarios, para la evaluación del costo-beneficio de la implementación de biodigestor.

## **10. Financiero**

**Objetivo:** Identificación de instrumentos financieros y financiamiento para la implementación de la hoja de ruta.

Meta 5.1 Análisis para la facilitación de instrumentos de inversión pública o privadas para la implementación de biodigestores a pequeños y medianos productores.

Meta 5.2 Identificación de instrumentos de financiamiento climático para el apoyo e implementación de la hoja de ruta.



#### 4.7. Análisis y modelación de acciones de mitigación adicionales

El Centro de Cambio Global UC cuenta con un modelo de proyección de emisiones del sector agricultura, para el periodo 1990-2050, desarrollado en el software Analytica de Lumina, considerando las categorías de emisiones y metodología de contabilización del INGEI 1990-2018, que se basan en las directrices del IPCC de 2006 (IPCC, 2006). El modelo considera todas las categorías consideradas en el último INGEI 1990-2018 del sector, siendo estas: Fermentación Entérica (emisiones de CH<sub>4</sub> producida en los sistemas digestivos de los animales), Gestión del Estiércol (corresponden a aquellas emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O generadas por los sistemas de producción animal para el almacenamiento y eliminación del estiércol), Suelos Agrícolas (emisiones de N<sub>2</sub>O producidos por procesos microbianos en el suelo asociados a la aplicación de compuestos nitrogenados) y Aplicación de Urea (emisiones de CO<sub>2</sub>, producto de la aplicación de urea).

El Modelo entregado contempla la modelación de 6 medidas de mitigación de GEI: Cambio de Dieta Bovina, Biodigestores Porcinos, Uso eficiente de fertilizante, Impuesto a la carne bovina, Aplicación de enmiendas orgánicas en suelos y Manejo Holístico de Ganado, que se describen en la siguiente Tabla 26.

**Tabla 26 Descripción de medidas de mitigación para el sector agricultura incorporadas en el modelo**

<b>Nombre medida</b>	<b>Descripción de la Medida</b>
Cambio de Dieta Bovina	Aplicación de aditivo lipídico en alimento concentrado de ganado bovino lechero, para la disminución de las emisiones de metano en el proceso de fermentación entérica. Medida considera que se aplique a un 70% de la población bovina lechera al 2037, empezando el 2030.
Biodigestores de Purines Porcinos	Implementación de Biodigestores para purines porcinos, disminuyendo las de emisiones de metano, llegando a un 50% de las cabezas Porcinas al 2040.

Uso eficiente del Fertilizante	Disminución del uso de fertilizantes nitrogenados agregados a cultivos, a través de mejoras en la utilización, reduciendo las emisiones de Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O), considerando una reducción del 11% en la intensidad de uso al 2040 para ciertos cultivos.
Aplicación de Enmiendas orgánicas	Aumento en la captura de carbono en suelos producto de la aplicación de enmiendas orgánicas (guano de aves de corral) aplicadas en suelos de cereales, partiendo la implementación el año 2029, llegando a un 10% de la superficie al 2034, y manteniéndose constante hasta el 2050. Se consideran las emisiones asociadas al contenido de nitrógeno.
Manejo Holístico de Ganado	Enfoque que busca optimizar la toma de decisiones, equilibrando consideraciones sociales, ambientales y financieras, regulando la planificación, monitoreo, control y replanificación de praderas y carga animal, mejorando la productividad de praderas, aumentando los contenidos de materia orgánica en suelos. La captura de carbono se produce por un aumento de los contenidos de materia orgánica en suelos. 20% Superficie Pastoreo de Ganado bovino en la Región de los Lagos al 2035, comenzando el 2030.
Biodigestores de Purines Bovinos	Implementación de Biodigestores para purines Bovinos, disminuyendo las emisiones de metano en la gestión del estiércol llegando a un 80% de las cabezas al 2037 (manteniéndose constante al 2050), comenzando el año 2030.
Reducción de quemas agrícolas.	Reducción de la superficie agrícola en la cual se realizan quemas agrícolas, llegando a reducir un 80% de la superficie quemada actual al 2029,

	comenzando el 2025.
Planta de Producción Biocarbón	Implementación de una planta de Biocarbón de residuos vegetales y posterior aplicación del biocarbón en suelos agrícolas. La planta comienza a operar el 2025.
Impuesto a la Carne	Impuesto de 10% al consumidor en carnes, afectando el % de producción nacional, desde el 2022.

**Modelo Sector Agricultura**  
Botón de acceso al modelo de emisiones del Sector Agricultura para Chile

**Modelo de emisiones de GEI Sector Agricultura**

### Proyecciones y Escenarios de Emisiones al 2050 del Sector Agricultura

Emisiones Sector Agricultura al 2050 (MM tCO<sub>2</sub>eq/año) Calc

Escenarios Sector Agricultura (MtCO<sub>2</sub>eq/año) Calc

#### Emisiones por tipo de Ganado

Los resultados incorporan las emisiones de distintas subcategorías por tipo de ganado, es decir, por ej. Para Bovinos, considera las emisiones de Fermentación entérica, Gestión de Estiercol, Suelos Agrícolas (considerando N por estiercol y orina de bovinos, y N de Fertilizante Orgánico)

Emisiones por tipo de Ganado (MMtCO<sub>2</sub>eq/año) Calc

% de Participacion en el total de emisiones del sector Agricultura (%) Calc

#### Medidas de Mitigación Sector Agricultura

La siguiente tabla permite evaluar distintos escenarios considerando diversas medidas. Para activar o desactivar medidas en el botón "Medidas según Escenario", incorporar 0 si no se desea evaluar dicha medida en el escenario, y 1 si desea incorporar la medida.

Se consideran 3 Escenarios:  
 - BAU: Escenario sin medidas consideradas  
 - NDC: Considerando 1) Biodigestores de purines Porcinos y 2) Uso Eficiente fertilizante  
 - CN RDM1: Considerando todas las Medidas evaluadas

Medidas según Escenario (%implementación medida) Table

#### Reducción de Emisiones por Medida de Mitigación

Reducciones anuales por medida de mitigación

Reduccion Emisiones al 2050 (MM tCO<sub>2</sub>eq/año) Result

Costo Mitigacion Anual promedio (USD/Ton Co<sub>2</sub>e) Result

Figura 16 Panel de exploración de resultados para Modelo de emisiones GEI sector Agricultura (Elaboración propia)

El modelo permite la visualización de resultados de distintos resultados Figura 16.

Permite la explotación de escenarios de reducción de emisiones para el sector al 2050 a nivel nacional o a nivel regional. Que se basa en la proyección de categorías principales, para ganado bovino, se utilizó un modelo econométrico en base al precio de la carne, que fueron obtenidos de la base de datos de Perspectivas Agrícolas 2021-2030, del repositorio de OECD-FAO<sup>31</sup>. Para la proyección del ganado porcino, se utilizó un modelo econométrico basado en el precio del maíz, los datos utilizados para la proyección de Precios al Productor de Maíz (CLP/ton), fueron obtenidos de la base de datos de Perspectivas Agrícolas 2021-2030, del repositorio de OECD-FAO<sup>32</sup>. Para la proyección del fertilizante inorgánico, se utilizó un modelo de intensidad de uso en base a dosis por tipo de cultivo.

El panel incluye la visualización de emisiones para por tipo de ganado, y porcentaje de participación en el total de emisiones del sector.

Además incluye la opción de integrar medidas a distintos escenarios, como también incluye la opción de visualizar la reducción y costo de abatimiento por medida de mitigación mencionadas en la Tabla 26.

---

<sup>31</sup> <https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?QueryId=107196&vh=0000&vf=0&l&il=&lang=en>

<sup>32</sup> <https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?QueryId=107196&vh=0000&vf=0&l&il=&lang=en>

#### **4.8. Conclusiones análisis de mitigación en el sector agricultura**

Si bien en Chile solo un 10, 5% de las emisiones totales a nivel nacional provienen del sector agricultura, posee un importante desafío en la reducción para contribuir al cumplimiento a las metas propuestos en su última NDC. Según las experiencias internacionales revisadas, la mayoría de los países, al menos cuentan con medidas de mitigación exclusivas para el Sector Agricultura, indicadas a través de su NDC o especificadas dentro de sus Comunicaciones Nacionales ante la CMNUCC, o reportes Bienales, y/o cuentan con un programa, plan o estrategia enfocada en la reducción de emisiones en el Sector, sin embargo, el potencial de mitigación del sector aún es poco competitivo en comparación con otros sectores.

En Chile, los compromisos y directrices de reducción de emisiones del sector son recientes, sin embargo, las políticas actuales apuntan hacia una estrategia que abarcan una amplias variedad de opciones, desde la reducción de emisiones por la gestión de estiércol en la industria porcina, mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes sintéticos, promoción de la restauración de suelos para la captura de carbono, evaluación de estrategias productivas enfocadas a la mitigación del cambio climático, elaboración de hoja de ruta para la reducción de emisiones de ganadería bovina, entre otras. El avance en la ejecución e implementación de las medidas propuestas están asociadas a la aprobación de la Ley Marco de Cambio Climático, que se encuentra en tramitación en el congreso, en el cual se incluye la elaboración del Plan de Mitigación del Sector Agricultura, que brindará lineamientos claros y específicos en el avance de las acciones propuestas en la ECLP de Chile.

Varias de experiencias internacionales revisadas apuestan por aumentar el presupuesto en investigación de tecnologías e innovaciones para la reducción de emisiones en el sector, que permitan encontrar tecnologías y prácticas que apunten a una mejor eficiencia y disminuyen los costos, siendo clave el avance en la reducción de emisiones fermentación entérica del ganado bovino.

## 5. REFERENCIAS

American University. (s.f). *What are Nature-Based Solutions?* Fact Sheet: Nature-Based Solutions to Climate Change. <https://www.american.edu/sis/centers/carbon-removal/fact-sheet-nature-based-solutions-to-climate-change.cfm>

Arango, J., Ruden, A., Martinez-Baron, D., Loboguerrero, A. M., Berndt, A., Chacón, M., Torres, C. F., Oyhantcabal, W., Gomez, C. A., Ricci, P., Ku-Vera, J., Burkart, S., Moorby, J. M., & Chirinda, N. (2020). Ambition Meets Reality: Achieving GHG Emission Reduction Targets in the Livestock Sector of Latin America. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 65. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00065>

Australian Government. (2020). *Australia's Nationally Determined Contribution*. 7.

Australian Government. (2021a). *Australia's long-term emissions reduction plan*. 130.

Australian Government. (2021b). *Delivering Ag2030*.

Australian Government. (2021c). *National Inventory Report 2019*.

Banco Mundial, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Federación Colombiana de Ganaderos, Fondo Acción para el Ambiente y la Niñez, & The Natura Conservacy. (2021). *Acción de Mitigación*

*Nacionalmente Apropriada de la Ganadería Bovina Sostenible en Colombia.* <https://cipav.org.co/wp-content/uploads/2021/10/Reporte-NAMA-Bovina-de-Colombia.pdf>

Benavides, C., Cifuentes, L., Díaz, M., Gilabert, H., Gonzalez, L., Gonzáles, D., Groves, D., Jaramillo, M., Marinkovic, C., Menares, L., Meza, F., Molina, E., Montedónico, M., Palma, R., Pica-Télliz, A., Salas, C., Torres, R., Vicuña, S., Valdés, J. M., & Vogt-Schilb, A. (2021). *Opciones para lograr la carbono-neutralidad en Chile: Una evaluación bajo incertidumbre.* <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Opciones-para-lograr-la-carbono-neutralidad-en-Chile-una-evaluacion-bajo-incertidumbre.pdf>

Berumen, S. A., & Redondo, F. L. (2007). *La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad creciente.* 25.

Bustos, E. S., Vicuña, S. D., Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile, & Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile. (2016). DECISION MAKING AND ADAPTATION PROCESSES TO CLIMATE CHANGE. *Ambiente & Sociedade*, 19(4), 215–234. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asocex0004v1942016>

Cabrera, G. (2014). *ANÁLISIS DESDE ARICA HASTA EL MAULE: ¿DÓNDE HAY CONDICIONES PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN CHILE?* 32–39.



- Casey, M. J., Meikle, A., Kerr, G. A., & Stevens, D. R. (2016). Social media—A disruptive opportunity for science and extension in agriculture? *NZGA: Research and Practice Series*, 16, 53–60.  
<https://doi.org/10.33584/rps.16.2016.3248>
- Choptiany, J. M. H., Phillips, S., Graeub, B. E., Colozza, D., Settle, W., Herren, B., & Batello, C. (2017). SHARP: Integrating a traditional survey with participatory self-evaluation and learning for climate change resilience assessment. *Climate and Development*, 9(6), 505–517.  
<https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1174661>
- Christiansen, L., Martinez, G., & Naswa, Prakriti (Eds.). (2018). *Sistemas de medición de la adaptación: Perspectivas sobre cómo medir, agregar y comparar los resultados de la adaptación*. UNEP DTU Partnership.  
<https://unepdtu.org/wp-content/uploads/2019/06/perspectives-esversion-sistemas-de-medicion-de-la-adaptacion.pdf>
- CNR. (2013). *Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuíferos en las regiones de Arica y Parinacota a la región del Maule*.  
<http://sad.dga.cl/ipac20/ipac.jsp?session=1H35369O32I37.2816052&profile=cirh&source=~!biblioteca&view=subscriptionssummary&uri=full=3100001~!6099~!53&ri=1&aspect=subtab13&menu=search&ipp=20&spp=20&staffonly=&term=RECARGA+DE+ACUIFEROS&index=.SW&uindex=&aspect=subtab13&menu=search&ri=1>

- CNR. (2019). *Informe Final de Evaluación de Programas Gubernamentales (EPG). Programa Obras Riego Menores y Medianas Ley 18.450 y Fomento al riego Art. 3, Incisio 3 [Evaluación de Programas Gubernamentales (EPG)].*  
[https://www.dipres.gob.cl/597/articles-189315\\_informe\\_final.pdf](https://www.dipres.gob.cl/597/articles-189315_informe_final.pdf)
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. 80.
- CSIRO. (2020). *Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos [Informe Final]. Comisión Nacional de Riego (CNR).*  
<https://www.cnr.gob.cl/wp-content/uploads/2021/01/Informe-final.pdf>
- DGA. (2020). *Planes Estratégicos de Gestión Hídrica: Gestión Integrada de Aguas a nivel de Cuencas.*  
<https://pubdocs.worldbank.org/en/927591618859641806/Presentacion-Planes-Estrategicos-de-Gestion-Hidrica-Mauricio-Lorca.pdf>
- DICTUC. (2019). *Antecedentes para la elaboración de análisis económico de la norma de emisión de olores para el sector porcino.*
- Dinesh, D., Hegger, D. L. T., Klerkx, L., Vervoort, J., Campbell, B. M., & Driessen, P. P. J. (2021). Enacting theories of change for food systems transformation under climate change. *Global Food Security*, 31, 100583.  
<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100583>
- Dirección de Presupuestos. (2019). *FICHAS EVALUACIÓN EX ANTE DE*

*PROGRAMAS PÚBLICOS FORMULACIÓN PRESUPUESTARIA 2020. Ministerio de Agricultura Servicio Agrícola y Gadero.*  
[https://www.dipres.gob.cl/597/articles-198731\\_doc\\_pdf.pdf](https://www.dipres.gob.cl/597/articles-198731_doc_pdf.pdf)

Dirección de Presupuestos. (2020a). *MONITOREO Y SEGUIMIENTO OFERTA PÚBLICA 2020. SISTEMA DE INCENTIVOS PARA LA SUSTENTABILIDAD AGROAMBIENTAL DE LOS SUELOS AGROPECUARIOS SIRSD-S LEY 20.412.* Gobierno de Chile.  
[https://programassociales.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/pdf/2021/PRG2021\\_7\\_87273.pdf](https://programassociales.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/pdf/2021/PRG2021_7_87273.pdf)

Dirección de Presupuestos. (2020b). *Reporte Evaluación Ex Ante de Diseño 2021.*  
[http://www.dipres.gob.cl/597/articles-210632\\_doc\\_pdf.pdf](http://www.dipres.gob.cl/597/articles-210632_doc_pdf.pdf)

Dirección Nacional de Cambio Climático. (2019). *Plan de Acción Nacional de Agro y Cambio Climático.*

Environment and Climate Change Canada. (2020). *A healthy environment and a healthy economy: Canada's strengthened climate plan to create jobs and support people, communities and the planet.*  
[https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/climate-change/climate-plan/healthy\\_environment\\_healthy\\_economy\\_plan.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/climate-change/climate-plan/healthy_environment_healthy_economy_plan.pdf)

Environment and Climate Change Canada. (2021). *National Inventory Report 1990-2019: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada.*

FAO. (2018a). *Regional analysis of the Nationally Determined Contributions of the*

*countries in Southern Europe, Eastern Europe and Central Asia | Policy Support and Governance.* <https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1193276/>

FAO. (2018b). *Soluciones ganaderas para el cambio climático* (p. 8).

FAO. (2019). *Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo de Fertilizantes.* <https://www.fao.org/3/ca5253es/ca5253es.pdf>

FAO. (2020). *Regional analysis of the nationally determined contributions in Latin America.* FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8249en>

FAO. (2021). *World Food and Agriculture—Statistical Yearbook 2021.* FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>

Field, C. B., Barros, V. R., & Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.). (2014). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability: Working Group II contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.

GIZ, & EURAC. (2017). *Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk.* [https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2017/10/GIZ-2017\\_Risk-Supplement-to-the-Vulnerability-Sourcebook.pdf](https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2017/10/GIZ-2017_Risk-Supplement-to-the-Vulnerability-Sourcebook.pdf)

- GIZ, & EURAC. (2018). *Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation*.
- GIZ & SEMARNAT. (2015). *Metodología para la Priorización de Medidas de Adaptación frente al Cambio Climático* [Guía de uso y difusión].  
<https://www.bivica.org/files/medidas-adaptacion-cambio-climatico.pdf>
- Gobierno de Chile. (2017). *Plan de Acción Nacional al Cambio Climático 2017-2022*.  
[https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan\\_nacional\\_climatico\\_2017\\_2.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf)
- Gobierno de Chile. (2020). *Contribución Nacional Determinada (NDC) de Chile*.
- Gobierno de Chile. (2021). *Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile*.  
<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/ECLP-LIVIANO.pdf>
- Gobierno de Colombia. (2020). *Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC)*.
- Gobierno de Costa Rica. (2018). *Plan Nacional de Descarbonización 2018 -2050*.  
<https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PLAN-NACIONAL-DESCARBONIZACION.pdf?x59939>
- Government of Canada. (2021). *Canada's 2021 Nationally Determined Contribution under the Paris Agreement*.  
[https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Canada%](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Canada%202021/Canada%202021%20Nationally%20Determined%20Contribution%20under%20the%20Paris%20Agreement.pdf)

20First/Canada%27s%20Enhanced%20NDC%20Submission1\_FINAL%20EN.pd

f

Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R., ... Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>

Hammill, A., Dekens, J., Leiter, T., Olivier, J., Klockemann, L., Stock, E., & Gläser, A. (2014). *Repository of Adaptation Indicators: Real case examples from national Monitoring and Evaluation Systems*. GIZ & IISD. <https://www.adaptationcommunity.net/download/me/me-guides-manuals-reports/giz2014-en-climate-adaptation-indicator-repository.pdf>

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2018). *Segundo Informe Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*. [http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM\\_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54](http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54)

Instituto Nacional de Estadísticas. (2021). *Encuesta de Criaderos de Cerdos*. <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/produccion-pecuaria>

IONOS. (2020). *Neural networks: ¿de qué son capaces las redes neuronales artificiales?* [Informática]. Digital Guide IONOS. <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/marketing-para-motores-de-busqueda/que-es-una-neural-network/>

IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.*

IPCC. (2018). *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Anexo 1: Glosario].*  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)

IUCN. (2020). *Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza: Un marco sencillo para la verificación, diseño y ampliación del uso de las SbN: primera edición (1st ed.).* IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.es>

Konidari, P., & Mavrakis, D. (2007). A multi-criteria evaluation method for climate

change mitigation policy instruments. *Energy Policy*, 35(12), 6235–6257.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.007>

Laudena, C., Yoon, S., Sánchez-Aragón, L., Miller, S., & Yu, B.-K. (2015). *Vulnerability Indicators of Adaptation to Climate Change and Policy Implications for Investment Projects* (Technical Note No. 858). Inter-American Development Bank. [https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/idb01062016\\_vulnerability-indicators-of-adaptation-to-climate-change-and-policy-implications-for-investment-projects.pdf](https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/idb01062016_vulnerability-indicators-of-adaptation-to-climate-change-and-policy-implications-for-investment-projects.pdf)

Magrin, G. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>

Mäkinen, K., Prutsch, A., Karali, E., Leitner, M., Völler, S., Lyytimäk, J., Pringle, P., & Vanneuville, W. (2018). *Indicators for adaptation to climate change at national level—Lessons from emerging practice in Europe*. [https://doi.org/DOI:10.25424/CMCC/CLIMATE\\_CHANGE\\_ADAPTATION\\_INDICATORS\\_2018](https://doi.org/DOI:10.25424/CMCC/CLIMATE_CHANGE_ADAPTATION_INDICATORS_2018)

Mant, R., Perry, E., Health, M., Väänänen, E., Großheim, C., & Kümper-Schlake, L. (2014). *Addressing climate change—why biodiversity matters*. UNEP-WCMC. <http://unep-wcmc.org/resources-and-data/biodiversity-criteria-in-iki>



Marquet, P., Gaxiola, A., Ávila-Thieme, M. I., Pica-Téllez, A., Vicuña, S., Alaniz Alberto, Etcheberry, G., González, D., Jara, V., & Menares, L. (2020). *Las tres brechas del desarrollo sostenible y el cierre de la brecha ambiental en Chile: Oportunidades para una recuperación post pandemia más sostenible y de bajo carbono en ALC*. Centro de Cambio Global UC.

McKenie, B. (2021). *AgriTech—A promising response to climate change*. [https://insightplus.bakermckenzie.com/bm/attachment\\_dw.action?attkey=FRbANEucS95NMLRN47z%2BeeOgEFCt8EGQJsWJiCH2WAVfnLVn2ghRGII%2FOblwHW3C&nav=FRbANEucS95NMLRN47z%2BeeOgEFCt8EGQbuwypnpZjc4%3D&attdocparam=pB7HEsg%2FZ312Bk8OluOIH1c%2BY4beLEAe2Ai%2B9k3Gy7s%3D&fromContentView=1](https://insightplus.bakermckenzie.com/bm/attachment_dw.action?attkey=FRbANEucS95NMLRN47z%2BeeOgEFCt8EGQJsWJiCH2WAVfnLVn2ghRGII%2FOblwHW3C&nav=FRbANEucS95NMLRN47z%2BeeOgEFCt8EGQbuwypnpZjc4%3D&attdocparam=pB7HEsg%2FZ312Bk8OluOIH1c%2BY4beLEAe2Ai%2B9k3Gy7s%3D&fromContentView=1)

MINAGI. (2018). *Proyecto que establece normas sobre composición, etiquetado y comercialización de los fertilizantes*. <https://open.economia.cl/wp-content/uploads/2019/04/2018.11.13-Fertilizantes.pdf>

MINAGRI, & CONAF. (2019). *ANEXO 7. PLAN MARCO DE GESTIÓN AMBIENTAL. Proyecto GEF Manejo Sustentable de la Tierra*. <https://www.enccrv.cl/actualizacion-mga>

MINAGRI, CONAF, & Corporación Nacional Forestal (Chile). (2017). *Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales: ENCCRV Chile*.

MINAGRI, & MMA. (2013). *PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL*

SECTOR SILVOAGROPECUARIO. *Propuesta Ministerial Elaborada en el Marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012*. XoXoXo Chile. [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/02/Plan\\_Adaptacion\\_CC\\_S\\_Silvoagropecuario.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/02/Plan_Adaptacion_CC_S_Silvoagropecuario.pdf)

Ministerio de Agricultura. (2020). *Estrategia de Sustentabilidad Agroalimentaria*. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2021/01/Anteproyecto-de-la-Estrategia-de-Sustentabilidad-Agroalimentaria.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2014). *Plan de Acción Sectorial (PAS) de mitigación de Gases Efecto Invernadero (GEI) Sector Agropecuario*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina*.

Ministerio de Ambiente y Energía, & Instituto Meteorológico Nacional. (2019). *Inventario Nacional de Emisiones por fuentes y absorciones por sumideros de Gases Efecto Invernadero en Costa Rica 2015*. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2020/10/NIR-2015-InventarioGEI.pdf?x59939>

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2019). *Plan Nacional de Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático para el Sector Agropecuario de Uruguay*. <https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents/Parties/NAP%20Agricultur>

e%20Uruguay.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Propuesta Metodológica para determinar presupuestos de carbono sectoriales*. Estrategia Climática de Largo Plazo. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/20210121-Minuta-Presupuestos-de-carbono-sectoriales.pdf>

Ministry for the Environment. (2017). *New Zealand's seventh national communication: Fulfilling reporting requirements under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol*.

Miralles-Wilhelm, F., & Iseman, T. (2021). *Nature-based solutions in agriculture: The case and pathway for adoption*. FAO and TNC. <https://doi.org/10.4060/cb3141en>

Miranda, F. (2021). *ANÁLISIS DE LA LEY N°18.450 QUE SUBSIDIA OBRAS PRIVADAS DE RIEGO (2010-2020)*. Fundación Terram. <https://www.terram.cl/descargar/naturaleza/agua/AnaCC811isis-de-la-Ley-No18.450-que-subsidia-obras-privadas-de-riego.pdf>

MMA. (2018). *Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022*. [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/11/Plan\\_humedales\\_Baja\\_confrase\\_VERSION-DEFINITIVA.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/11/Plan_humedales_Baja_confrase_VERSION-DEFINITIVA.pdf)

MMA. (2020). *Minuta: Avances para la definición Indicadores de vulnerabilidad y adaptación para Chile en la ECLP.*  
<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/Minuta-Avances-en-Indicadores-adaptacion.pdf>

MMA. (2021). *Cuarta Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.*  
<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/Compilado-V3.pdf>

New Zealand Government. (2020). *Submission under the Paris Agreement Communication and update of New Zealand's Nationally Determined Contribution.*  
<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/New%20Zealand%20First/NEW%20ZEALAND%20NDC%20update%2022%2004%202020.pdf>

Noble, I. R., Huq, S., Anokhin, Y. A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F. P., Osman-Elasha, B., & Villamizar, A. (2014). *Adaptation Needs and Options. 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. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/cup.2014.16>*

Org/10.1017/CBO9781107415379, 19.

ODEPA. (2019). *La industria Porcina en Chile: Oportunidades y desafíos para su sustentabilidad*. [https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/04/articulo-industria\\_porcina.pdf](https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/04/articulo-industria_porcina.pdf)

ODEPA. (2021). *Situación del mercado nacional e internacional de la carne de cerdo* (p. 16).

ODEPA. (s.f). *Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático Sector Silvoagropecuario* [Gubernamental]. Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático Sector Silvoagropecuario. <https://www.odepa.gob.cl/temas-transversales/plan-de-adaptacion-nacional-al-cambio-climatico-sector-silvoagropecuario>

ONU. (2015). *Acuerdo de París*.

Popchev, I., & Radeva, I. (2020). Decision Making Model for Disruptive Technologies in Agriculture. *2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (IS)*, 258–264. <https://doi.org/10.1109/IS48319.2020.9199962>

PROVIA. (2013). *PROVIA guidance on assessing vulnerability, impacts and adaptation to climate change: Consultation document*. United Nations Environment Programme. <https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/downloads/provia-guidance-nov2013.pdf>

- Ramasamy, S., Semedo, M. H., Castro Salazar, R., & Frick, M. (2017). *Tracking adaptation in agricultural sectors: Climate change adaptation indicators*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). <https://www.fao.org/resilience/resources/recursos-detalle/es/c/1106739/>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- seddon, natalie, Reid, H., Jones, X., pye, t, Roe, D., Rizvi, A., & Mountain, D. (2016). *Ecosystem-based adaptation: A win-win formula for sustainability in a warming world?*
- Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad. (2017a). *Política Nacional de Cambio Climático*. República Oriental del Uruguay. [https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Politica\\_CC\\_1.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Politica_CC_1.pdf)
- Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad. (2017b). *Primera Contribución Determinada a nivel Nacional*. República Oriental del Uruguay. [https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Uruguay%20First/Uruguay\\_Primera%20Contribuci%C3%B3n%20Determinada%20a%20nivel%20Nacional.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Uruguay%20First/Uruguay_Primera%20Contribuci%C3%B3n%20Determinada%20a%20nivel%20Nacional.pdf)

- Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad. (2019). *Inventario Nacional Emisiones Gases Efecto Invernadero Serie 1990—2017*. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2021-07/Inventario%20Nacional%20Emisiones%20GEI%202017%20Serie%201990%20-%202017.pdf>
- Spanaki, K., Sivarajah, U., Fakhimi, M., Despoudi, S., & Irani, Z. (2021). Disruptive technologies in agricultural operations: A systematic review of AI-driven AgriTech research. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03922-z>
- Tyfield, D. (2011). Food systems transition and disruptive low carbon innovation: Implications for a food security research agenda. *Journal of Experimental Botany*, 62(11), 3701–3706. <https://doi.org/10.1093/jxb/err123>
- Wilson, C., Pettifor, H., Cassar, E., Kerr, L., & Wilson, M. (2019). The potential contribution of disruptive low-carbon innovations to 1.5 °C climate mitigation. *Energy Efficiency*, 12(2), 423–440. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9679-8>

## 6. ANEXOS

### 6.1. Anexo 1: Selección de marcos metodológicos existentes para monitorear adaptación

Tabla 27. Marcos, herramientas y métodos seleccionados para supervisar los procesos y resultados de la adaptación. Fuente: (Ramasmay et al., 2017)

Framework/tool/method	Target of monitoring and evaluation (process/outcomes)	Level of application	Sector and targeted users
Monitoring and reporting toolkit of PPCR (CIF, 2015)	Processes related to adaptation planning and mainstreaming	National and programme and/or project level	Multisectoral; national policy makers
Stocktaking for national adaptation planning (SNAP) tool (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2014)	Self-assessment of capacities to undertake NAP processes	National	Multisectoral; stakeholders involved in NAP processes
Framework for the assessment of skills for national adaptation planning (Mackay et al., 2015)	Assessment of capacities to design NAP processes	National	Multisectoral; stakeholders involved in NAP processes
Tool for monitoring progress, effectiveness, and gaps (PEG) under NAP processes (UNFCCC, 2015b)	Assessment of the essential functions of NAP processes	National	Multisectoral; stakeholders involved in NAP processes
The Vulnerability Sourcebook (Fritzsche et al., 2014)	Changes in outcomes, with a specific focus on vulnerability	National and subnational	Multisectoral; adaptation practitioners
Impact evaluation guidebook for climate change adaptation projects (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2015)	Assessment of adaptation interventions contributing to a given outcome	National	Multisectoral; adaptation practitioners
Adaptation monitoring and assessment tool (AMAT) (GEF, 2012)	Assessment of project-specific processes, outputs and outcomes	Programme and/or project	Multisectoral; GEF projects' executing partners
Tracking adaptation and measuring development (TAMD) approach (Brooks et al., 2011)	Monitoring of climate risk management processes and outcomes	National and local	Multisectoral; adaptation practitioners
Framework on making adaptation count (Spearman and McGray, 2011)	Monitoring and evaluation of adaptation processes and outcomes	National and local	Multisectoral; adaptation practitioners
Self-evaluation and holistic assessment of climate resilience of farmers and pastoralists (SHARP) (FAO, 2015)	Farmer's self-evaluation to assess resilience	Programmes and projects (household/community)	Agriculture (farmers and pastoralists)
Index for risk management (INFORM) (De Groeve et al., 2015)	Assessment of country resilience and ranking	National	Multisectoral; national decision makers; international organizations
Resilience index measurement and analysis (RIMA) (FAO, 2016a)	Assessment of households' reactions to shocks and stressors	Household	Agriculture, with a focus on households
Participatory monitoring, evaluation, reflection and learning (PMERL) for community-based adaptation (CARE International, 2014)	Participatory monitoring, evaluation, reflection and learning to help design and implement community-based adaptation	Community	Multisectoral; focusing on community level interventions



## 6.2. Anexo 2: Comparación de la cobertura de la “Guía Metodológica Recarga Artificial de Acuíferos”

Tabla 28. Comparación de la cobertura de esta Guía con otras guías internacionales relacionadas a la Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG)

Cobertura	Esta Guía (CNR)	Guías de la OMS sobre agua potable	Guías Australianas de RAG
<b>Tipo de Fuente de Agua</b>			
Agua superficial rural sin mayor intervención *	✓	✓	✓
Aguas pluviales urbanas			✓
Aguas residuales tratadas			✓
Aguas desalinizadas			✓
Aguas residuales industriales			✓
<b>Tipo de Acuífero</b>			
No confinado	✓	✓	✓
Confinado		✓	✓
<b>Condición del Agua Subterránea</b>			
Agua subterránea no utilizada para beber**	✓		✓
Agua subterránea utilizada para beber localmente	✓	✓	✓
Agua subterránea utilizada para el suministro público de agua potable		✓	✓
El agua subterránea sostiene ecosistemas sensibles			✓
El agua subterránea es salobre	✓		✓
El agua subterránea está contaminada			
<b>Metodología</b>			
Evaluación de cuenca		✓	✓
Evaluación de escritorio basada en datos disponibles, incluso si es limitada	✓	✓	✓
Evaluación de riesgos basada en investigaciones y datos de monitoreo		✓	✓
Programas de monitoreo	✓	✓	✓
Manejo de obstrucciones	✓		✓
Recuperación en acuíferos salobres	✓		✓
Reacciones biogeoquímicas en acuíferos			✓
<b>Costo y confianza</b>			
Bajo costo y facilidad de implementación	✓	✓	
Mejora la protección de la salud	✓	✓	✓
Alta confianza en la protección de la salud***		✓	✓
Alta confianza en la protección del medio ambiente***			✓

\* Agua lluvia y agua de ríos

\*\* Se refiere a todos los usos de agua con la excepción del uso de agua potable, ej. riego, industrial, ambiental, minero, etc.

\*\*\* La guía tiene un enfoque en proyectos de RAG del sector agrícola y por lo tanto no aborda estos aspectos en profundidad, es decir, no garantiza 100% confianza en la protección de la salud o medio ambiente, sin embargo, busca reducir significativamente el riesgo frente a estos aspectos que posiblemente presentan proyectos actuales de RAG

### 6.3. Anexo 3: Descripción de las Categorías de emisión para el Sector Agricultura.

**3.A.1 Fermentación Entérica:** Corresponden a las emisiones de CH<sub>4</sub> generadas por Fermentación Entérica que se produce en los sistemas digestivos de los animales, principalmente en los rumiantes.

**3.A.2 Gestión del Estiércol:** Corresponden a aquellas emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (directas e indirectas), generadas en los sistemas de almacenamiento de estiércol de los sistemas de producción animal. Las emisiones de CH<sub>4</sub> se producen producto de la descomposición del estiércol bajo condiciones anaeróbicas durante el almacenamiento y tratamiento, así como el estiércol depositado en pasturas. Las emisiones directas de N<sub>2</sub>O se producen a través de la nitrificación y desnitrificación combinadas de nitrógeno contenido en estiércol, bajo condiciones aeróbicas. Las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O, son el resultado de pérdidas de nitrógeno volátil

**3.C.7 Cultivo de Arroz:** Corresponden a las emisiones de CH<sub>4</sub> generadas por descomposición anaeróbica de materia orgánica en arrozales inundados, en función de los periodos de inundación y otras variables ambientales

**3.C.5 Suelos Agrícolas:** Esta categoría incluye las emisiones directas e indirectas (volatilización y lixiviación) de N<sub>2</sub>O generadas desde la superficie de los suelos producto de procesos microbianos asociados a la aplicación de nitrógeno en forma sintética (Fertilizantes inorgánicos) y nitrógeno orgánico (estiércol animal), estiércol y orina depositado en pasturas, y nitrógeno de residuos de cultivos.

**3.C.1d Quema de residuos Agrícolas en Campo:** Esta categoría considera las emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> generadas por la quema de residuos en campo, considerando la superficie cultivada de Cereales y otros Cultivos y Huertos Frutales.

**3.C.2 Encalado:** Corresponden a las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el uso de calcita y dolomita en los suelos agrícolas, que al disolverse liberan carbonatos (2HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), para el control del pH de suelos.

**3.H Aplicación de urea:** Corresponde a las emisiones de CO<sub>2</sub> producto de la aplicación de Urea a los suelos cultivados, a través de la pérdida de CO<sub>2</sub> que se fija en el proceso de producción industrial, pasando de urea (C(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), en

amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), ion Hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ).