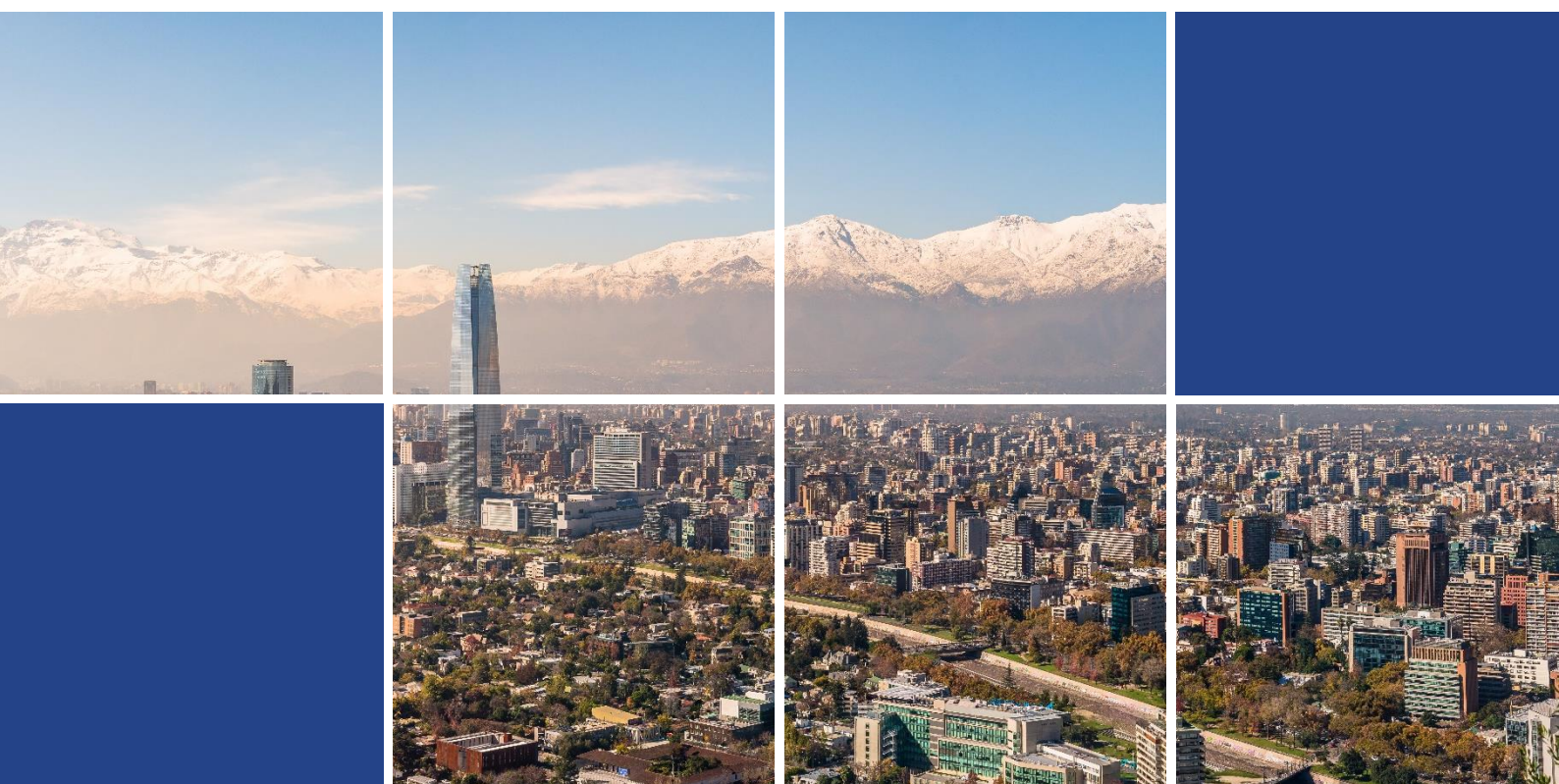




## Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (TAP) para la implementación de la NDC de Chile

Producto 3.2: Identificación y priorización de tecnologías



Elaborado para:



**Consultoría:**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (TAP) para la implementación de la NDC de Chile

**Cliente:**

Red y Centro de Tecnología del Clima (CTCN)

CTCN, Ciudad de las Naciones Unidas, Marmorvej 51, 2100 Copenhague, Dinamarca

<https://www.ctc-n.org/>

**Producido por:**

DEUMAN

AV. Vitacura 2909, Las Condes, Santiago, Chile

+56 2 32247478

[www.deuman.com](http://www.deuman.com)

Anthesis Lavola

Rambla de Catalunya, 6, 08007 Barcelona, España.

+34 938 51 50 55

<https://www.thesisgroup.com/es/>

**Detalles de contacto:**

Itala Ferrer

[iferrer@deuman.com](mailto:iferrer@deuman.com)

**Lugar y fecha de presentación:**

Santiago, 10 de abril de 2023.

## Índice

Índice de tablas .....	3
Índice de figuras .....	4
Acrónimos .....	5
1. Resumen ejecutivo .....	6
2. Objetivos.....	7
2.1. Objetivo general.....	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
3. Metodología de identificación y priorización de tecnologías.....	8
3.1. Contexto de la decisión .....	8
3.2. Identificación de opciones tecnológicas.....	9
3.3. Identificación de criterios .....	9
3.4. Ponderación y puntuación.....	11
3.4.1. Ponderación de criterios.....	11
3.4.2. Puntuación de tecnologías.....	12
3.5. Análisis de sensibilidad.....	12
4. Resultados y análisis.....	14
4.1. Contexto de decisión .....	14
4.2. Tecnologías de mitigación al cambio climático.....	15
4.2.1. Grupo sectorial energía .....	15
4.2.1.1. Almacenamiento basado en baterías (BESS).....	16
4.2.1.2. Hidrógeno verde como combustible para vehículos pesados .....	16
4.2.1.3. Sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) .....	17
4.2.2. Grupo sectorial gestión de residuos.....	17
4.2.2.2. Tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales mediante larvas de mosca soldado-negra .....	18
4.2.2.3. Vermicompostaje comunitario de residuos orgánicos municipales .....	19
4.2.2.4. Digestión anaerobia para producir biogás y electricidad a partir de microturbinas .....	19
4.3. Tecnologías de adaptación al cambio climático .....	20
4.3.1. Grupo sectorial recurso hídrico.....	20
4.3.1.1. Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua.....	21
4.3.1.2. Captación, tratamiento y almacenamiento de agua de lluvia .....	22
4.3.1.3. Reutilización de agua residual.....	22
4.3.2. Grupo sectorial silvoagropecuario .....	23
4.3.2.2. Sistema de alerta temprana .....	24
4.3.2.3. Tecnología de machine learning (ML) e inteligencia artificial .....	24
4.3.2.4. Sistema de irrigación inteligente .....	25
Anexos.....	26
Anexo 1: Fichas tecnológicas (documento adjunto) .....	26
Anexo 2: Validación de tecnologías (documento adjunto).....	26
Anexo 3: Tercer grupo de trabajo sectorial (documento adjunto).....	26
Anexo 4: Resultados de costos y reducción de emisiones.....	28

## Índice de tablas

Tabla 1. Criterios de priorización por sector .....	6
Tabla 2. Criterios seleccionados por sectores de evaluación.....	10
Tabla 3. Definición y escalas de puntuación de todos los criterios.....	10
Tabla 4. Resultados de ponderación de criterios para el sector energía – red eléctrica .....	15
Tabla 5. Resultados de ponderación de criterios para el sector energía – transporte.....	15
Tabla 6. Ranking preliminar de priorización de tecnologías del sector energía .....	15
Tabla 7. Priorización final de las tecnologías del sector energía .....	16
Tabla 8. Resultados de ponderación de criterios para el sector gestión de residuos .....	18
Tabla 9. Ranking final de priorización de tecnologías del sector gestión de residuos.....	18
Tabla 10. Resultados de ponderación de criterios para el sector recurso hídrico .....	20
Tabla 11. Ranking final de priorización de tecnologías para el sector recursos hídricos.....	21
Tabla 12. Resultados de ponderación de criterios para el sector silvoagropecuario .....	23
Tabla 13. Ranking final de priorización de tecnologías del sector silvoagropecuario.....	23
Tabla 14. Ficha resumen del tercer grupo de trabajo sectorial.....	26
Tabla 15. Participación para la priorización de tecnologías – sector gestión de residuos.....	27
Tabla 16. Participación para la priorización de tecnologías – sector recurso hídrico.....	27
Tabla 17. Participación para la priorización de tecnologías – sector silvoagropecuario .....	27
Tabla 18. Participación para la priorización de tecnologías – sector energía .....	28
Tabla 19. Estructura de costos para tecnologías de prevención de generación de metano – sector residuos .....	28
Tabla 20. Estructura de costos de tecnologías de captura y uso de metano – sector residuos.....	29
Tabla 21. Porcentajes de reducción de GEI – tecnologías sector residuos.....	29
Tabla 22. Estructura de costos para tecnologías de gestión de riesgo – sector recurso hídrico.....	30
Tabla 23. Estructura de costos para tecnologías de aplicación doméstica – sector recurso hídrico ..	30
Tabla 24. Estructura de costos para tecnologías de aplicación doméstica – sector recurso hídrico ..	30
Tabla 25. Estructura de costos – tecnologías del sector silvoagropecuario .....	31
Tabla 26. Estructura de costos las tecnologías del subsector red eléctrica –sector energía .....	32
Tabla 27. Estructura de costos las tecnologías del subsector transporte–sector energía.....	33

## Índice de figuras

Figura 1. Pasos en un proceso TNA .....	6
Figura 2. Tecnologías priorizadas por sector para el desarrollo de las TAP.....	6
Figura 3. Metodología de análisis multicriterio .....	8
Figura 4. Proceso para el establecimiento de los objetivos de las tecnologías priorizadas .....	8
Figura 5. Proceso para la validación de las tecnologías.....	9
Figura 6. Proceso para la validación de criterios .....	9
Figura 7. Proceso de priorización de las tecnologías.....	11
Figura 8. Encuesta de Menti: ponderación de criterios .....	12
Figura 9. Ejemplo de matriz de rendimiento (puntuación de tecnologías).....	12
Figura 10. Ejemplo de matriz de resultados (combinación de ponderaciones y puntajes normalizados) .....	12
Figura 11. Flujo del análisis de sensibilidad o revisiones post-taller .....	13
Figura 12. Participación en el grupo de trabajo por género.....	26

## Acrónimos

<b>ANAC</b>	Asociación Nacional Automotriz de Chile
<b>ASCC</b>	Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático
<b>ASE</b>	Agencia de Sostenibilidad Energética
<b>ANIR</b>	Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje
<b>BESS</b>	Almacenamiento basado en baterías
<b>BRT</b>	Sistema de autobús de tránsito rápido (en inglés, Bus Rapid Transit)
<b>CIDERH</b>	Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos Hídricos
<b>CNE</b>	Comisión Nacional de Energía
<b>CORFO</b>	Corporación de Fomento de la Producción
<b>CSP</b>	Plantas de concentración solar en potencia (en inglés, Concentrated Solar Power)
<b>EC</b>	Equipo consultor
<b>FDL</b>	Fundación para el Desarrollo Frutícola
<b>FESAN</b>	Federación Nacional de Cooperativas de Servicios Sanitarios
<b>GTS</b>	Grupos de trabajo sectoriales
<b>INFOR</b>	Instituto Forestal
<b>MCA</b>	Análisis multicriterio (por sus siglas en inglés)
<b>MMA</b>	Ministerio de Medio Ambiente de Chile
<b>MSN</b>	Mosca soldado-negra
<b>MSUR</b>	Asociación Metropolitana de Municipalidades de Santiago
<b>NDC</b>	Contribución Determinada a Nivel Nacional
<b>ODEPA</b>	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura
<b>SECTRA</b>	Secretaría de Planificación de Transporte del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
<b>SISS</b>	Superintendencia de Servicios Sanitarios
<b>TNA</b>	Evaluación de Necesidades Tecnológicas (en inglés, Technology Needs Assessment).
<b>TAP</b>	Plan de Acción para la Tecnología (en inglés, Technology Action Plan)
<b>UNEP</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (en inglés, United Nations Environment Programme)

## 1. Resumen ejecutivo

El proceso de Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) en Chile finalizó su primera etapa con la priorización de tecnologías, que responden a los desafíos de adaptación y mitigación seleccionados por el país. En ese sentido, el presente informe describe la metodología de análisis multicriterio desarrollado para la selección de dichas tecnologías y el proceso participativo llevado a cabo.

Figura 1. Pasos en un proceso TNA



Fuente: Elaboración propia a partir de UNEP DTU Partnership (2019).

El análisis multicriterio comprendió de la identificación de opciones tecnológicas que respondieran a los desafíos priorizados y la definición de criterios de priorización. Posteriormente, se llevó a cabo un trabajo conjunto con los grupos de trabajos técnicos en una sesión participativa donde se puntuó tecnologías y ponderó dichos criterios (ver Tabla 1)

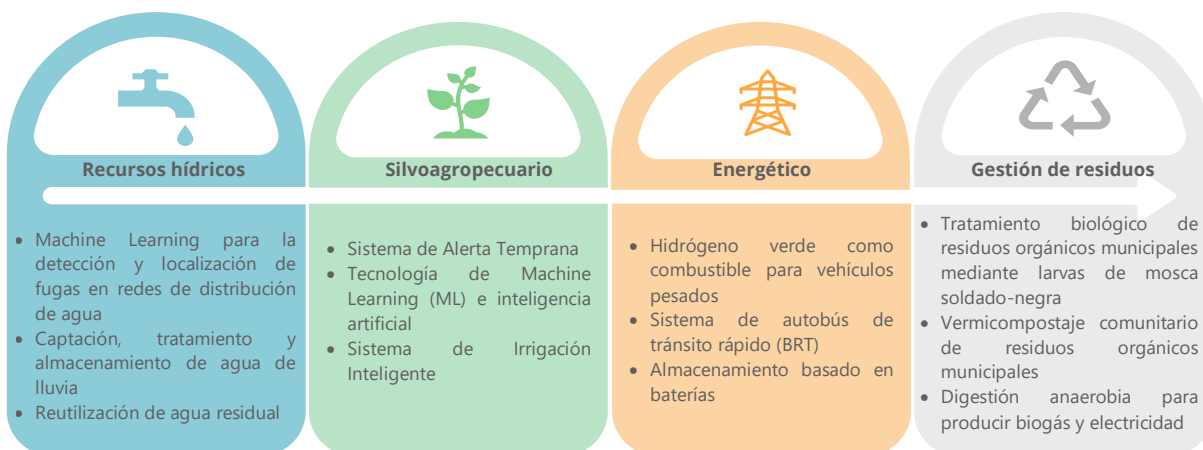
Tabla 1. Criterios de priorización por sector

Criterios	Energía: Red eléctrica	Energía: Transporte	Recurso hídrico	Silvoagropecuario	Gestión de residuos
Costo capital (USD)	18%	16%	28%	22%	10%
Reducción de emisiones GEI (%)					28%
Respuesta a prioridades nacionales (NDC)	29%	33%	14%	20%	33%
Desarrollo de capacidades					15%
Creación de nuevas fuentes de trabajo	16%	13%	8%	13%	14%
Seguridad energética	21%				
Nivel de respuesta a desafíos	16%	13%	18%		
Mejoramiento de la calidad del aire (PM2.5)		25%			
Impactos ambientales negativos			14%		
Capacidad de suministro de agua en zonas urbanas y/o rurales			18%		
Reducción de vulnerabilidad silvoagropecuaria				23%	
Mejora en la productividad agrícola o forestal				22%	

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad de dichos resultados que concluyó en la priorización de 3 tecnologías por sector:

Figura 2. Tecnologías priorizadas por sector para el desarrollo de las TAP



A partir de estas tecnologías, se elaborarán el análisis de barreras e identificación del marco habilitante, así como los Planes de Acciones Tecnológicas (TAP) sectoriales.

## 2. Objetivos

Los objetivos del presente informe corresponden a la Actividad 3.2 de los Términos de Referencia: Evaluación, priorización y validación de tecnologías clave para el cumplimiento de la TNA de Chile.

### 2.1. Objetivo general

Evaluar, validar y priorizar tecnologías clave con grupos de trabajo sectoriales.

### 2.2. Objetivos específicos

- Preparar fichas tecnológicas, donde se sistematicen las fuentes de información pertinentes, incluido el Climate Techwiki y las guías publicadas por UNEP DTU, incluyendo una evaluación de las tecnologías endógenas sobre la base de las recomendaciones de las partes interesadas identificadas.
- Definir los criterios para evaluar las tecnologías de adaptación y mitigación que se incorporarán al Análisis de Criterios Múltiples (MCA), los cuales deberán tener aspectos claves sociales y ambientales.
- Crear un sistema de información de datos para capturar los insumos destinados a la priorización y selección de tecnologías.
- Priorizar y validar hasta 3 tecnologías por sector, utilizando el MCA en los talleres con los grupos de trabajo y en base a los criterios seleccionados previamente.

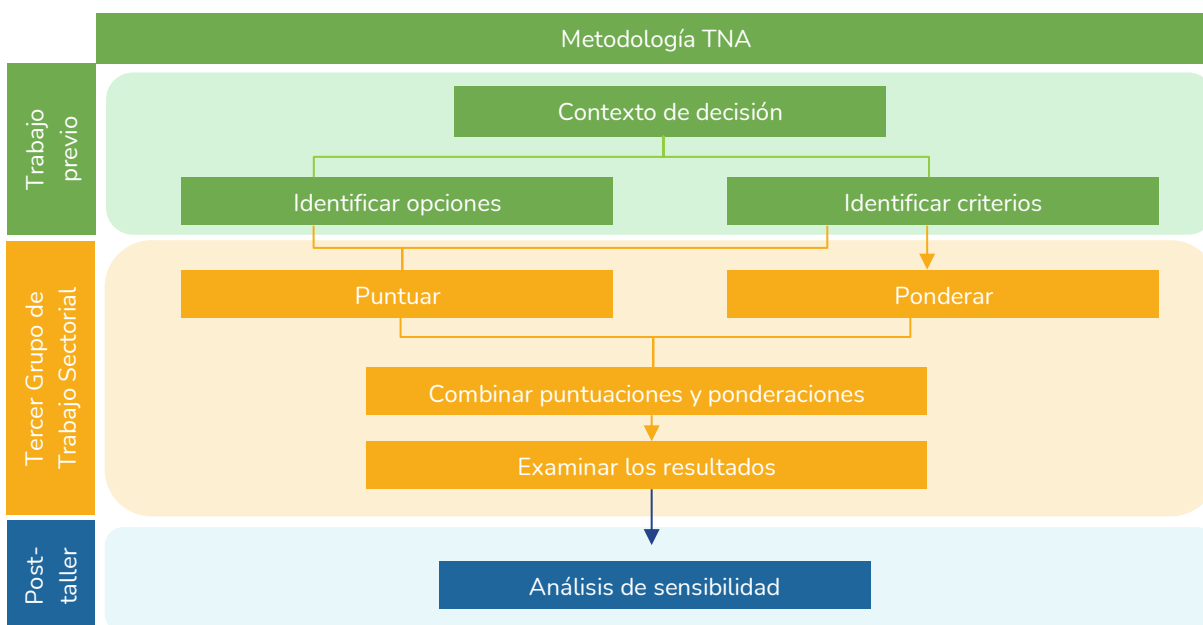


### 3. Metodología de identificación y priorización de tecnologías

Para la priorización de tecnologías, primer paso analítico del proceso TNA, se utilizó la metodología de Análisis Multicriterio (MCA) (Figura 3). El MCA facilita la participación de las partes interesadas permitiendo la experiencia técnica y juicios normativos en la evaluación de la tecnología de adaptación o mitigación<sup>1</sup>. Además, permite combinar criterios cuantitativos y cualitativos para obtener una priorización de calidad.

En esta sección se describirán cada uno de los pasos del esquema propuesto, señalando a su vez, otras fuentes de orientación que el equipo consultor siguió para el desarrollo del proceso TNA en Chile.

Figura 3. Metodología de análisis multicriterio



Fuente: Elaboración propia a partir de UNEP DTU Partnership (2019).

#### 3.1. Contexto de la decisión

Figura 4. Proceso para el establecimiento de los objetivos de las tecnologías priorizadas



Fuente: Elaboración propia

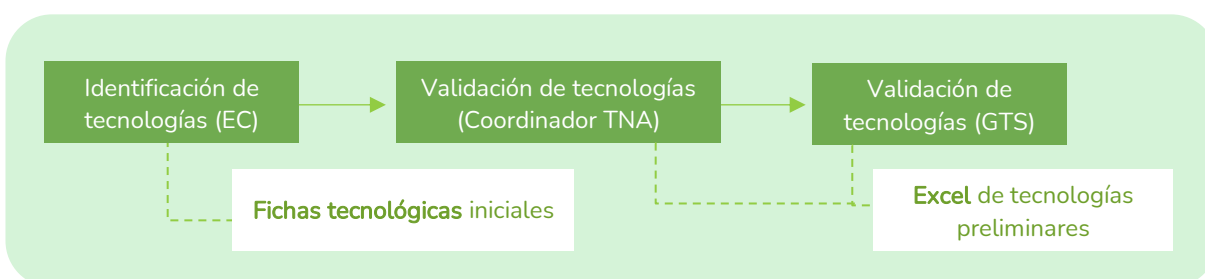
Conforme a lo señalado en la Figura 3Figura 4, en primer lugar, el equipo consultor (EC) evaluó las prioridades, los planes y los proyectos en curso, nacionales y locales. Posteriormente, en el contexto

<sup>1</sup> UNEP DTU Partnership & UN Environment (2019). A guidebook for countries conducting a Technology Needs Assessment and Action Plan. Disponible en: <https://tech-action.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/04/2019-02-tna-step-by-step-guide.pdf>

de la validación de tecnologías, se definió cómo se van a transferir y difundir las tecnologías (ver Producto 2 y 3.1). Además, se elaboró una descripción general de las tecnologías existentes a nivel nacional para identificar posibles brechas. Finalmente, se determinó qué objetivos están destinados a alcanzar las tecnologías a identificadas y priorizadas, de acuerdo con lo señalado en el tercer cuadro de la Figura 4.

### 3.2. Identificación de opciones tecnológicas

Figura 5. Proceso para la validación de las tecnologías



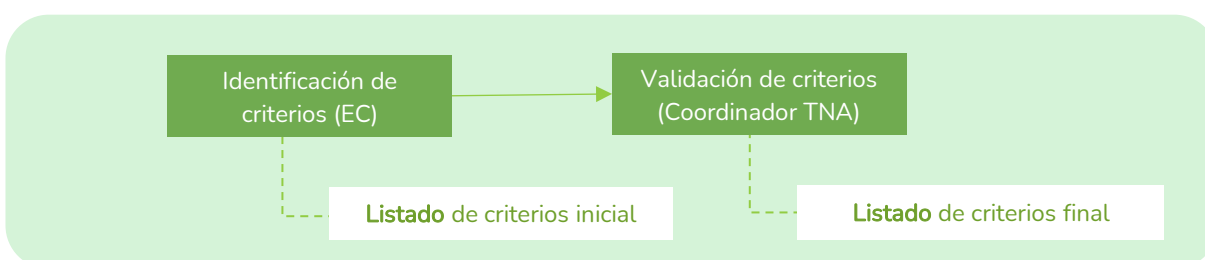
Fuente: Elaboración propia

Para la identificación de las opciones tecnológicas, de acuerdo con lo señalado en la Figura 2, se procedió a la búsqueda tecnológica y los desafíos que enfrenta cada sector para identificar las tecnologías. Con esta finalidad, el EC revisó documentos de planificación nacionales y fuentes de información relevantes, como Climate Techwiki o guías publicadas por UNEP DTU. Además, se identificaron estructuras de modelos de fichas tecnológicas elaboradas por otros países de la región.

Como resultado, se elaboraron fichas tecnológicas por sector (ver Anexo 1) con información relevante para una posterior validación en el proceso MCA. Dichas fichas fueron presentadas a los Coordinadores TNA<sup>2</sup>. Esta primera validación permitió hacer un ajuste de la cantidad y calidad de las tecnologías identificadas. Finalmente, como se señala en la Figura 5, se elaboró un documento de validación de las tecnologías (Anexo 2) para ser presentadas a los grupos de trabajo sectoriales, cuyo objetivo es entregar una opinión técnica sobre cada tecnología, así como proponer nuevas o prescindir de otras.

### 3.3. Identificación de criterios

Figura 6. Proceso para la validación de criterios



Fuente: Elaboración propia

<sup>2</sup> En Chile, se encuentra conformado por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Ministerio de Ciencias, Tecnología, Conocimiento e Innovación (MinCiencia) y Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC).

**Producto 3.2. Evaluación, priorización y validación de tecnologías clave para el cumplimiento de la TNA de Chile**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (TAP) para la implementación de la NDC de Chile

Para la identificación de criterios, se realizó una revisión de fuentes de información, como la nota de la Guía MCA sobre Adaptación y Mitigación<sup>34</sup> y la revisión de criterios utilizados en otros países, a través de sus Reportes TNA. Como resultado, se establecieron criterios de priorización para cada sector y fueron validados por los Coordinadores TNA. La Tabla 2, presenta dichos criterios y la Tabla 3 presenta su descripción.

**Tabla 2. Criterios seleccionados por sectores de evaluación**

Criterios	Energía		Recurso hídrico	Silvoagropecuario	Gestión de residuos
	Red eléctrica	Transporte	Potable urbana y rural	Agricultura y forestal	Residuos orgánicos municipales
Costos (USD)					
Reducción de emisiones (%)					
Respuesta a prioridades nacionales (NDC)					
Oportunidades de desarrollo de capacidades y/o puestos de trabajo					*
Seguridad energética					
Nivel de respuesta a desafíos				**	**
Mejoramiento de la calidad del aire					
Impactos ambientales negativos					
Capacidad de suministro de agua en zonas urbanas y/o rurales					
Reducción de vulnerabilidad silvoagropecuaria					
Mejora en la productividad agrícola o forestal					

Nota: (\*) Sector residuos: este criterio se divide en: fuentes de trabajo y desarrollo de capacidades. (\*\*) Criterio no implementado en el sector silvoagropecuario y gestión de residuos, puesto que solo cuenta con un solo desafío.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3. Definición y escalas de puntuación de todos los criterios**

Criterio	Tipo	Definición	Escala
Costos	Cuantitativo	Costo capital (CAPEX) de la tecnología o coste capital por producir un kW o coste capital por tonelada de residuo tratado	Valor numérico <ul style="list-style-type: none"> <li>Energía: USD /kW o USD</li> <li>Recurso hídrico: USD</li> <li>Silvoagropecuario: USD</li> <li>Residuos: USD/ton o USD/m<sup>3</sup></li> </ul>
Reducción de emisiones	Cuantitativo	Porcentaje de reducción de emisiones GEI por la implementación de la tecnología.	Valor numérico (%)
Respuesta a prioridades nacionales (NDC)	Cualitativo	Nivel de respuesta a las medidas de contribución del componente de adaptación, mitigación o integración de la NDC.	(3) Alta respuesta (2) Media respuesta (1) Baja respuesta
Oportunidades de desarrollo de capacidades y/o puestos de trabajo	Cualitativo	Nuevas fuentes de trabajo y capacidades generadas a partir de la implementación y/o funcionamiento de la tecnología.	(5) Mucho más de lo aceptable (4) Por sobre el promedio (3) Cantidad promedio (2) Menos del promedio (1) Cantidad no aceptable
Seguridad energética	Cualitativo	Nivel de capacidad de un país para garantizar "la disponibilidad ininterrumpida de energía a precios asequibles".	(5) Mucho más de lo aceptable (4) Por sobre el promedio (3) Cantidad promedio (2) Menos del promedio (1) Cantidad no aceptable

<sup>3</sup> UDP (2015). Evaluating and prioritizing technologies for adaptation to climate change: a hands-on guidance to multi-criteria analysis (MCA).

<sup>4</sup> UDP (2015). Identifying and prioritizing technologies for mitigation: a hands-on guidance to multi-criteria analysis (MCA).

**Producto 3.2. Evaluación, priorización y validación de tecnologías clave para el cumplimiento de la TNA de Chile**

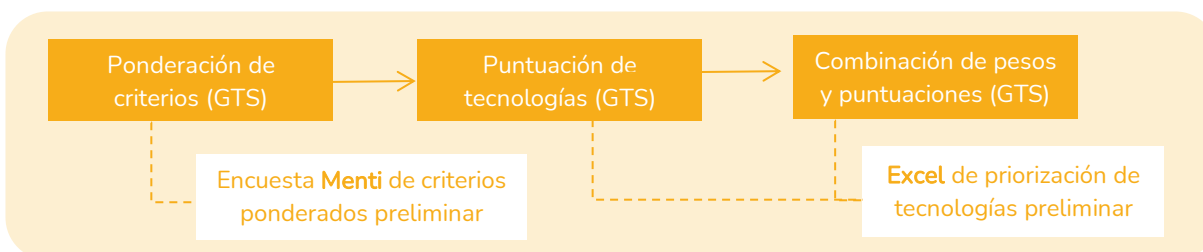
Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (TAP) para la implementación de la NDC de Chile

Criterio	Tipo	Definición	Escala
Nivel de respuesta a desafíos	Cualitativo	Nivel de respuesta a los distintos desafíos del sector priorizados.	(3) Alta respuesta (2) Media respuesta (1) Baja respuesta
Mejoramiento de la calidad del aire (PM2.5)	Cualitativo	Nivel de reducción de las emisiones de PM2.5 gracias a la implementación de la tecnología.	(3) Alta reducción (2) Media reducción (1) Baja reducción
Impactos ambientales negativos	Cualitativo	Nivel de impacto negativo que genera la implementación y operación de la tecnología.	(3) Alto impacto (2) Medio impacto (1) Bajo impacto
Capacidad de suministro de agua en zonas urbanas y/o rurales	Cualitativo	Nivel de capacidad de la tecnología para suministrar agua.	(3) Alta capacidad (2) Media capacidad (1) Baja capacidad
Reducción de vulnerabilidad silvoagropecuaria	Cualitativo	Nivel de reducción de la vulnerabilidad por reducción de riesgos del sector silvoagropecuario gracias a la implementación de la tecnología.	(5) Mucho más de lo aceptable (4) Por sobre el promedio (3) Cantidad promedio (2) Menos del promedio (1) Cantidad no aceptable
Mejora en la productividad agrícola o forestal	Cualitativo	Nivel del aumento de productividad agrícola o forestal por mejores y más oportunas decisiones de gestión (eficacia y la eficiencia con que se usan los recursos)	(5) Mucho más de lo aceptable (4) Por sobre el promedio (3) Cantidad promedio (2) Menos del promedio (1) Cantidad no aceptable

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Ponderación y puntuación

Figura 7. Proceso de priorización de las tecnologías



Fuente: Elaboración propia

La ponderación de criterios y puntuación de las tecnologías se desarrolló en el Tercer Grupo de Trabajo Sectorial (véase Anexo 2 para más detalles sobre los participantes). Este evento se llevó a cabo en formato virtual mediante la plataforma Zoom (en 4 salas paralelas, cada una correspondiente a un sector) el 13 de diciembre del 2022, cuya agenda fue:

- Presentación de la metodología MAC.
- Dinámica 1: Ponderación de criterios (pesos en porcentaje) a través de la plataforma Menti.
- Dinámica 2: Priorización de las tecnologías a través de la plataforma Excel, donde se puntuaron los criterios cualitativos.
- Discusión de resultados.

#### 3.4.1. Ponderación de criterios

Los criterios fueron ponderados por los miembros de los grupos de trabajo, mediante una encuesta realizada en la plataforma Menti, la cual promediaba las respuestas de los y las participantes. Estos resultados fueron discutidos y validados por las mesas de trabajo.

**Figura 8. Encuesta de Menti: ponderación de criterios**



Fuente: Elaboración propia a partir de Menti.

### 3.4.2. Puntuación de tecnologías

En la segunda parte del taller, cada miembro de los grupos de trabajo puntuó las tecnologías de acuerdo con su experiencia técnica en una matriz de rendimiento (Figura 9). La matriz permitió, de manera automática, normalizar los resultados de la matriz de rendimiento del 0 al 100 dependiendo si el valor preferido era el más alto o bajo. De esa forma se obtuvo la matriz de resultados (Figura 10). Esta última matriz combinó los pesos de criterios y puntuaciones de las tecnologías para obtener los resultados y el ranking de priorización de cada sector (ver Anexo 3).

**Figura 9. Ejemplo de matriz de rendimiento (puntuación de tecnologías)**

Tecnologías	CRITERIOS				
	COSTO	AMBIENTAL		ECONÓMICO	SOCIAL
	Costo capital (US\$/t)	Reducción de emisiones GEI en CO2e (%)	Respuesta a prioridades nacionales (NDC)	Creación de nuevas fuentes de trabajo	Desarrollo de capacidades
Planta de compostaje de residuos orgánicos municipales	40,0	32,0	3,0	4,0	4,0
Vermicompostaje comunitario de residuos orgánicos municipales	24,0	40,0	3,0	4,0	4,0
Tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales mediante larvas de mosca soldado	76,0	50,0	3,0	4,0	4,0

Fuente: Elaboración propia a partir de UNEP DTU.

**Figura 10. Ejemplo de matriz de resultados (combinación de ponderaciones y puntajes normalizados)**

Tecnologías/Criterios	Costo capital (US\$/t)	Reducción de emisiones GEI en CO2e (%)	Respuesta a prioridades nacionales (NDC)	Creación de nuevas fuentes de trabajo	Desarrollo de capacidades	Peso ponderado
Peso	0,10	0,28	0,33	0,15	0,14	
Valor preferido	B	A	A	A	A	
Planta de compostaje de residuos orgánicos municipales	69,23	0,00	100,00	100,00	100,00	68,92
Vermicompostaje comunitario de residuos orgánicos municipales	100,00	44,44	100,00	100,00	100,00	84,44
Tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales mediante larvas de mosca soldado	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	90,00

Fuente: Elaboración propia a partir de UNEP DTU.

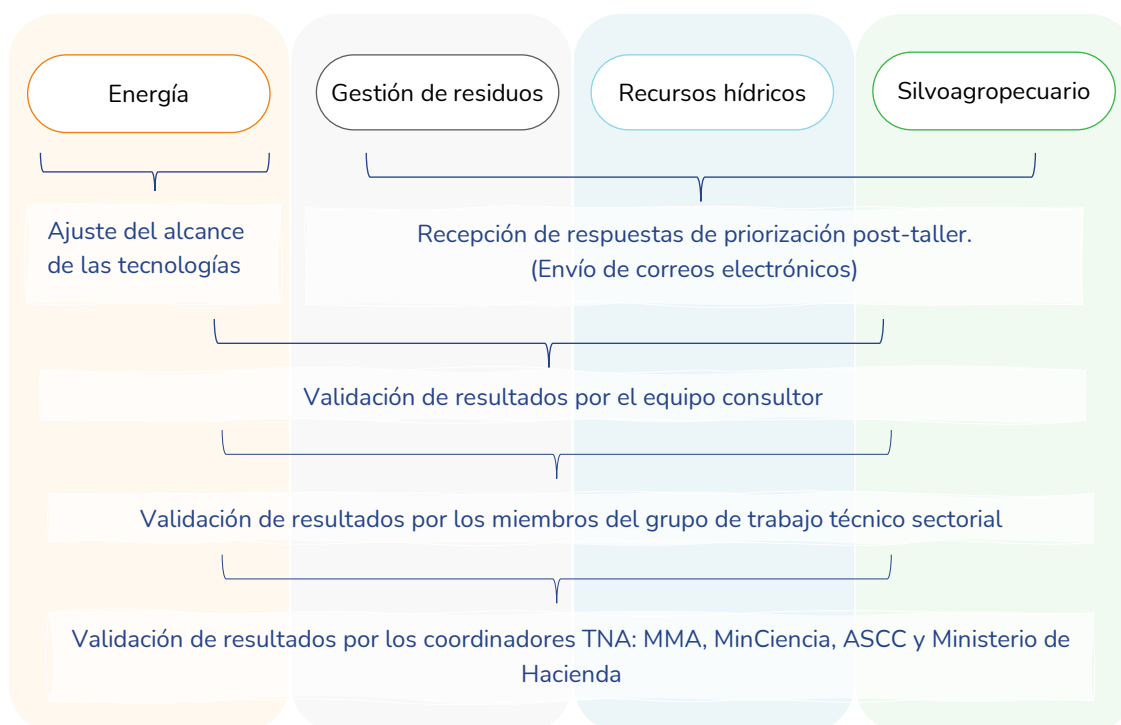
### 3.5. Análisis de sensibilidad

Como último paso, se realizó el análisis de sensibilidad para la revisión y validación de las tecnologías priorizadas, es decir, de los resultados. En esta etapa, se realizó la validación de los resultados entre los distintos puntos de vista de los especialistas<sup>5</sup> (miembros de los grupos de trabajo sectorial). Este consistió en dos partes:

<sup>5</sup> UNEP DTU Partnership. UNEP (2019). A guidebook for countries conducting a Technology Needs Assessment and Action Plan. [\[Enlace\]](#)

- Levantamiento de sugerencias y comentarios adicionales, a través de correos electrónicos, por parte de los miembros de los grupos técnicos. Para el sector silvoagropecuario, se realizaron entrevistas<sup>6</sup>.
- Validación de resultados por los grupos técnicos, equipo consultor y coordinadores TNA.

**Figura 11. Flujo del análisis de sensibilidad o revisiones post-taller**



Fuente: Elaboración propia.

<sup>6</sup> Se llevó a cabo entrevistas con la Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF) y el Centro de Agricultura y Medioambiente (AGRIMED) de la Universidad de Chile para levantar información sus impresiones sobre los resultados obtenidos.

## 4. Resultados y análisis

### 4.1. Contexto de decisión

Chile posee una problemática estructural en la gestión del agua, en donde aproximadamente el 53% de las comunas del país fueron declaradas en sequía hídrica, viviendo en su mayoría bajo racionamiento del recurso<sup>7</sup>. Esto lo convierte en el primer país de Latinoamérica con condición de estrés hídrico<sup>8</sup>.

En este contexto, surge la necesidad de implementar tecnologías que incrementen la eficiencia del uso del agua a nivel transversal en los sectores productivos del país, especialmente en los procesos industriales. Durante los últimos años, el país ha buscado implementar tecnologías que permitan su reutilización y tratamiento, enfrentar escenarios de sequía y desertificación, con el fin de mantener los flujos en circulación.

Este tipo de tecnologías y desafíos se relacionan directamente con la actividad agrícola y forestal, en donde el agua es también una de las principales problemáticas y se apunta a una gestión inteligente de los recursos hídricos en el sector silvoagropecuario. Complementando este enfoque, existe la necesidad de implementar tecnologías que, a través del monitoreo y análisis de información agroclimática, permitan integrar nuevos datos obtenidos con información existente que sea de fácil acceso y que sirva de guía para la toma de decisiones de pequeñas y grandes actividades comerciales o de subsistencia del sector frente al cambio climático.

En el sector de residuos, el país cuenta con iniciativas relacionadas a la valorización de residuos orgánicos municipales como lo son las plantas de compostaje y vermicompostaje comunitario. En la actualidad, Chile tiene el propósito de fomentar la economía circular especialmente en este sector, buscando promover iniciativas transversales que permitan la recirculación de residuos desde la legislación, producción y consumo. Un ejemplo de ello es la Hoja de Ruta para un Chile Circular y la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) las cuales resaltan la importancia de intercambiar y gestionar conocimiento para la generación de evidencia y el desarrollo tecnológico e innovación.

Otro de los objetivos nacionales también se enmarca en conseguir una transición energética sostenible y justa tanto en el sector transporte como energético. Los compromisos del país están orientados a mejorar su marco regulatorio y de política energética, aumentar la incorporación de Energías Renovables no Convencionales (ERNC) en la matriz de generación, fortalecer las tecnologías innovadoras basadas en energía limpia y empujar la descarbonización de su economía; todo esto dentro de un proceso de participación ciudadana e inclusiva que se ha venido acelerando en el tiempo<sup>9</sup>.

El presente contexto nacional apunta a responder a qué objetivos están destinados a alcanzar las tecnologías, estableciéndose como: responder a las necesidades y brechas nacionales en el marco de las Contribuciones Nacionales Determinada (NDC) para la mitigación y adaptación al cambio climático.

---

<sup>7</sup> Universidad de Chile (2022). Chile lidera la crisis hídrica en América Latina. [\[Enlace\]](#)

<sup>8</sup> Reig, P. Schleifer, L. Hofste, R. (2019). 17 países, hogar de una cuarta parte de la población mundial, enfrentan un estrés hídrico extremadamente alto. [\[Enlace\]](#)

<sup>9</sup> Marzolf, N. Macias, A. (2022). Chile: líder regional en el avance de una transición energética limpia, sostenible y justa, con compromiso social. Blogs BID. [\[Enlace\]](#)

## 4.2. Tecnologías de mitigación al cambio climático

### 4.2.1. Grupo sectorial energía

La priorización de las tecnologías del sector se dio con los asistentes de la mesa de energía (Tabla 18) para los criterios cualitativos. Finalmente se obtuvo los siguientes resultados:

#### A. Ponderación de criterios

Los resultados de pesos asignados a cada criterio se muestran en la Tabla 4 para el subsector red eléctrica y en la Tabla 8 para el subsector transporte.

Tabla 4. Resultados de ponderación de criterios para el sector energía – red eléctrica

Criterios		Total = 100	Peso (W)
Costos	Costo capital (USD/kW)	18	0,18
Ambiental	Seguridad energética	21	0,21
	Respuesta a prioridades nacionales (NDC)	29	0,29
Socioeconómico	Nivel de respuesta a los desafíos	16	0,16
	Desarrollo de capacidades y/o puestos de trabajo	16	0,16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Resultados de ponderación de criterios para el sector energía – transporte

Criterios		Total = 100	Peso (W)
Costos	Costo capital (CAPEX)	16	0,16
Ambiental	Mejoramiento de la calidad del aire	25	0,25
	Respuesta a prioridades nacionales (NDC)	33	0,33
Socioeconómico	Nivel de respuesta a los desafíos	13	0,13
	Desarrollo de capacidades y/o puestos de trabajo	13	0,13

Fuente: Elaboración propia.

#### B. Priorización de tecnologías

Los resultados del sector energía se presentan en la Tabla 6Tabla 13.

Tabla 6. Ranking preliminar de priorización de tecnologías del sector energía

Ranking	Tecnologías del subsector red eléctrica	Puntaje
1	Plantas de Concentración Solar en Potencia (CSP)	82,0
2	Red inteligente (Smart Grid)	71,0
3	Almacenamiento basado en baterías	68,5
4	Micro aerogeneradores	58,3
Ranking	Tecnologías del subsector transporte	Puntaje
1	Hidrógeno verde como combustible para vehículos pesados	100,0
2	Sistema de autobús de tránsito rápido (BRT)	75,5
3	Desarrollo Orientado al Tránsito	41,2
4	Estaciones de carga solar para vehículos eléctricos	35,0
5	Movilidad Inteligente	13,0

Fuente: Elaboración propia.



Sin embargo, el **análisis de sensibilidad**<sup>10</sup> del subsector red eléctrica precisa la dificultad de seleccionar solo un tipo de tecnología relacionada con la producción energética a través de una fuente renovable sobre otra. En ese sentido, se selecciona la tecnología de almacenamiento basado en batería, al ser una tecnología habilitante para el desarrollo de otras tecnologías de producción energética y ser prioritaria en relación con uno de los desafíos prioritarios en el sector sobre las otras tecnologías. Quedando la priorización de las tecnologías como lo indica la Tabla 7.

**Tabla 7. Priorización final de las tecnologías del sector energía**

<b>Tecnologías del subsector red eléctrica</b>
Almacenamiento basado en baterías
<b>Tecnologías del subsector transporte</b>
Hidrógeno verde como combustible para vehículos pesados
Sistema de autobús de tránsito rápido (BRT)

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1.1. Almacenamiento basado en baterías (BESS)

Los BESS son dispositivos electroquímicos que almacenan energía al convertir la energía eléctrica en energía química, siendo esta energía química liberada nuevamente para producir energía eléctrica<sup>11</sup>. En relación con los sistemas de almacenamiento conectados a la red eléctrica, aunque existen tecnologías maduras, como las baterías de sodio-azufre (NaS), estas no han tenido un despliegue tecnológico y comercial importante.

Otras tecnologías como las baterías de ion-litio, de flujo y níquel-metal hidruro se encuentran también en fases avanzadas de desarrollo, siendo las dos primeras las más prometedoras para aplicaciones de red. Por otro lado, las baterías de ion-litio son las más desarrolladas y con mejores prestaciones a nivel general<sup>12</sup>.

Actualmente, Chile aprobó la Ley 21505 “Ley que promueve el almacenamiento de energía eléctrica y fomenta la electromovilidad”<sup>13</sup>, ley que promoverá tecnologías para el almacenamiento de energía de las fuentes renovables, posibilitando la aceleración del retiro de centrales a carbón. A escala nacional la tecnología evita el vertimiento de energía renovable en las plantas de generación fotovoltaicas o eólica, mientras que a escala local las plantas de generación eléctrica en zonas aisladas necesitarán de un fomento económico que permita su inserción, así como en viviendas para el fomento de la electromovilidad.

#### 4.2.1.2. Hidrógeno verde como combustible para vehículos pesados

El Hidrógeno Verde (HV) es el hidrógeno obtenido mediante electrólisis donde se utiliza energía eléctrica para dissociar la molécula de agua generando gas hidrógeno (H<sub>2</sub>) y gas oxígeno (O<sub>2</sub>). Este proceso hace uso de energías renovables (Ziehe *et al.*, 2021)<sup>14</sup>. El enfoque actual para el transporte del hidrógeno verde está en los vehículos eléctricos de celdas de combustibles, que usan celdas de

<sup>10</sup> Análisis de sensibilidad realizado entre los consultores técnicos y los coordinadores TNA, a partir de las recomendaciones del grupo de trabajo sectorial.

<sup>11</sup> Breeze, P. (2018). Large-Scale Batteries. *Power System Energy Storage Technologies*, 33–45. doi:10.1016/b978-0-12-812902-9.00004-3

<sup>12</sup> PwC (2021). El papel del almacenamiento en la Transición Energética. [\[Enlace\]](#)

<sup>13</sup> LEY 21505 Promueve el almacenamiento de energía eléctrica y la electromovilidad. [\[Enlace\]](#)

<sup>14</sup> Ziehe J. Walter, K. Olivia, T. Cárdenas, P. González, JP. (2021). Manual de Hidrógeno Verde. Alianza Hidrógeno Verde para el Biobío. [\[Enlace\]](#)

combustibles para convertir hidrógeno en electricidad y esta alimenta al vehículo a través de un motor eléctrico (UNCC, 2022)<sup>15</sup>.

En relación con sus beneficios climáticos, estudios en diferentes países han demostrado una reducción en su porcentaje de emisiones de GEI entre vehículos pesados propulsados por hidrógeno, entre 89 – 87% en comparación con camiones de diésel en Canadá<sup>16</sup> y entre 60 a 77% en China (Lajevardi *et al.*, 2019; Li & Taghizadeh, 2022)<sup>17</sup>.

Si bien aún existen barreras tecnológicas por el alto precio en comparación a los usos convencionales, así como, de una infraestructura de abastecimiento de HV inexistente en el país, esta tecnología respondería a las metas de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde, la cual propone el uso de este combustible en transporte de carga pesada de larga distancia como parte de su primera fase (2023 – 2028). Además, el país tiene experiencias piloto en el sector minero en los camiones de extracción de minerales y del piloto de caminos eléctricos de hidrogeno con una autonomía de mil kilómetros, cuyos resultados aportarán al despliegue tecnológico (Volvo Chile, 2022)<sup>18</sup>.

#### 4.2.1.3. Sistema de autobús de tránsito rápido (BRT)

El BRT es un sistema de transporte masivo para reducir las causas típicas de retraso de los autobuses<sup>19</sup>. Estos sistemas se basan en carriles reservados en ciertos tramos de la vía, estaciones de embarque y desembarque de pasajeros y un sistema automatizado de control de embarque y desembarque de pasajeros para permitir operaciones rápidas y frecuentes (UNEP, 2022)<sup>20</sup>.

Las oportunidades de inserción de esta tecnología se encuentran en las regiones del país que no cuentan con un sistema integrado de transporte y la demanda de un transporte masivo y sostenible es necesaria, pudiendo replicarse la experiencia de Transantiago. Además, su aplicación se deberá analizar en conjunto con otras opciones de transporte masivo tales como el sistema de trenes. Por otro lado, la mesa técnica recomienda que la tecnología BRT debe ir acompañada de manera indisociable con la planificación de usos de suelo en dónde se desarrollen estas infraestructuras, por tanto, el Desarrollo Orientado del Transporte Público es vital en este proceso y para que esta tecnología se desarrolle de manera exitosa, se requiere de un trabajo en conjunto entre el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) y los Gobiernos Locales.

### 4.2.2. Grupo sectorial gestión de residuos

La priorización de las tecnologías del sector se dio en dos momentos: con los asistentes de la mesa de gestión de residuos (Tabla 15) y con los miembros del grupo de trabajo que no pudieron asistir al taller (post-taller). Finalmente, se obtuvieron los siguientes resultados:

#### A. Ponderación de criterios

<sup>15</sup> UNCC (2022). Deep decarbonization technologies for sustainable road mobility. United Nations Climate Change: Technology Executive Committee. [\[Enlace\]](#)

<sup>16</sup> Lajevardi, M.S., Aksen, J., Crawford, C. (2019). Comparing alternative heavy-duty drivetrains based on GHG emissions, ownership, and abatement costs: Simulations of freight routes in British Columbia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 76, 19-55.

<sup>17</sup> Li, Y., Taghizadeh-Hesary, F. (2022). The economic feasibility of green hydrogen and fuel cell electric vehicles for road transport in China. *Energy Policy* 160, 112703.

<sup>18</sup> Volvo Chile (2022). Volvo anuncia pruebas de celdas de combustible de hidrógeno en camiones en Europa para 2025. [\[Enlace\]](#)

<sup>19</sup> CTCN. Bus rapid transit. [\[Enlace\]](#)

<sup>20</sup> UNEP (2022). CIRCULATION RAPIDE DES BUS (BUS RAPID TRANSIT OU BRT). [\[Enlace\]](#)

Los resultados de peso asignado a cada criterio se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Resultados de ponderación de criterios para el sector gestión de residuos**

Criterios		Total = 100	Peso (W)
Costos	Costo capital	10	0,10
Ambiental	Reducción de emisiones GEI en CO2e (%)	28	0,28
	Respuesta a prioridades nacionales (NDC)	33	0,33
Socioeconómico	Creación de nuevas fuentes de trabajo	15	0,15
	Desarrollo de capacidades	14	0,14

Fuente: Elaboración propia.

## B. Priorización de tecnologías

En el caso del sector gestión de residuos, las tecnologías se encuentran agrupadas en: (i) tecnologías de prevención de generación de metano y (ii) tecnologías de captura y uso del metano. Sin embargo, la priorización se realizó considerando el ranking final de todo el sector.

**Tabla 9. Ranking final de priorización de tecnologías del sector gestión de residuos**

Ranking	Tecnologías de prevención de generación de metano	Puntaje
1	Tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales mediante larvas de mosca soldado-negra	90,0
2	Vermicompostaje comunitario de residuos orgánicos municipales	84,4
3	Planta de compostaje de residuos orgánicos municipales	66,0
Ranking	Tecnologías de captura y uso de metano	Puntaje
1	Digestión anaerobia para producir biogás y electricidad a partir de microturbinas	72,0
2	Recuperación de gases de vertedero (LFG)	61,0
3	Purificación de metano	40,8

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan las tecnologías priorizadas:

### 4.2.2.2. Tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales mediante larvas de mosca soldado-negra

En el método de descomposición por especies biológicas, el tratamiento de larvas de Mosca soldado-negra (MSN) es una de las tecnologías que reúne tres términos principales: compostaje de desechos, recuperación de nutrientes y generación de ingresos en su aplicación. Esto lo hace una alternativa que se destaca con respecto a otras por su bajo costo, bajo mantenimiento, requiere una operación menos sofisticada, tiene una baja huella ecológica y un potencial económico más alto.

La solución tecnológica consiste en alimentar con residuos biológicos segregados a las larvas de MSN, que han sido criadas en un vivero. Las larvas crecen en la materia prima de desecho y reducen la masa de desecho. Al final del proceso, las larvas se cosechan y, si es necesario, se procesan posteriormente para obtener un producto de alimentación animal adecuado. El residuo de desecho también se puede procesar más y potencialmente venderse o usarse como enmienda del suelo con propiedades fertilizantes. Se ha demostrado que alimentar a las larvas con desechos inactiva las bacterias que transmiten enfermedades, como *Salmonella spp.* Sin embargo, la reducción del riesgo

se logra principalmente a través de la reducción material ( $\pm 80\%$ ) más que a través de la inactivación de patógenos (Dortmans *et al.*, 2017)<sup>21</sup>.

Para implementar este tratamiento, no hay necesidad de tecnología sofisticada de alta gama para operar una instalación. Por lo tanto, es adecuado para entornos de bajos ingresos que dependen principalmente de tecnología simple y mano de obra no calificada.

#### **4.2.2.3. Vermicompostaje comunitario de residuos orgánicos municipales**

El vermicompostaje es una técnica que consiste en un proceso de bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica, mediado por la acción combinada de lombrices de tierra y microorganismos, del que se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado vermicompost o humus de lombriz, producto que considera un ingreso monetario por su venta. En principio, las materias primas para el vermicompostaje son las mismas que para el compostaje, aunque con algunos conceptos referentes a las condiciones y contenidos necesarios para que las lombrices puedan llevar a cabo su metabolismo. Para mantener en condiciones óptimas las lombrices y conseguir un buen vermicompost, deben cumplirse una serie de requisitos como la ausencia de luz, control de la humedad y temperatura, pH mayores a 4.5, alimentación como vegetales descompuestos, entre otros (AgroWaste, s.f.)<sup>22</sup>

Para su implementación, se pueden dar a nivel de pequeña escala, en donde se consideran vermicomposteras comunales o a nivel domiciliario. A un nivel industrial o de gran escala, se considera una planta de vermicompostaje; en este caso, se debe tomar en cuenta una mayor cantidad de criterios, especialmente los malos olores emitidos, el control de las moscas, hormigas, y el consumo de agua que se use para controlar el sistema. Al igual que una planta de compostaje, al diseñar un sistema o planta de vermicompostaje, es imprescindible incorporar estudios por ejemplo para diseño logístico. De acuerdo con los especialistas de los grupos de trabajo sectoriales, se recomendó también contar con ambas tecnologías en una sola planta: vermicompostaje y compostaje.

#### **4.2.2.4. Digestión anaerobia para producir biogás y electricidad a partir de microturbinas**

En la digestión anaerobia, denominada también biometanización, intervienen una serie de microorganismos que degradan la biomasa en ausencia de oxígeno y es llevada a cabo dentro de reactores herméticos o biodigestores. Como resultado de esta biometanización, se obtiene una mezcla de gases (metano y dióxido de carbono) conocida como biogás que puede ser aprovechado en el ámbito doméstico e industrial, o como combustible para los vehículos; además del digestato (Genia Bioenergy, s.f.)<sup>23</sup>. En Chile se están desarrollando proyectos de biogás a diferentes escalas y para distintos usos energéticos, siendo el mayor número de proyectos corresponden a purines y estiércoles, así como rellenos sanitarios y vertederos, teniendo hasta 10 aplicaciones en el país cada uno. Además, las microturbinas de gas son una tecnología para generación de electricidad que

---

<sup>21</sup> Dortmans B.M.A., Diener S., Verstappen B.M., Zurbrügg C. (2017) Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland. [\[Enlace\]](#)

<sup>22</sup> AgroWaste (s.f.). Vermicompostaje. [\[Enlace\]](#)

<sup>23</sup> Genia Bioenergy. (s. f.). Waste to energy: conversión de residuos en energía renovable. [\[Enlace\]](#)

utilizan el biogás y operan a altas velocidades de rotación y en el rango de 20 a 250 kW (Ministry of Science, Technology and Innovations of Brazil, 2021)<sup>24</sup>.

En la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) 2040, se pretende elaborar un reglamento específico para establecer un estándar a nivel nacional para el diseño y operación de plantas de digestión anaeróbica. En este reglamento, se podrán considerar las normas asociadas a valorización de residuos orgánicos, elaboradas por el Instituto Nacional de Normalización (INN). Por otro lado, en el país, actualmente no existen proyectos de digestión anaeróbica diseñados para tratar residuos orgánicos municipales, por lo tanto, no existe referencia de tarifa de entrada al respecto. En ese sentido, se recomendó que este tipo de proyectos se realicen en el marco de alianzas público-privadas entre municipios y otros sectores.

Las ubicaciones ideales para la instalación de una planta de biogás son todos aquellos lugares donde exista producción de aguas o lodos residuales orgánicos: explotaciones agrícolas y ganaderas, entre otros; además de contar con el ingreso de residuos orgánicos municipales. Se deben considerar los altos de costos de operación y el consumo de energía requerido, pero también las ventas de productos como fuente adicional de ingresos para los proyectos de valorización de mayor escala, aportando así a la recuperación de la inversión de las municipalidades o sector privado<sup>14</sup>. Otro aspecto por considerar es el digestato, el cual se debe procurar que no sea destinado a un monorelleno o similar (por ejemplo, el digestato (líquido y sólido) puede ser aplicado al suelo).

### 4.3. Tecnologías de adaptación al cambio climático

#### 4.3.1. Grupo sectorial recurso hídrico

La priorización de las tecnologías del sector se dio en dos momentos: con los asistentes de la mesa de recurso hídricos (Tabla 16Tabla 15) y con los miembros del grupo de trabajo que no pudieron asistir al taller (post-taller). Finalmente se obtuvieron los siguientes resultados:

##### A. Ponderación de criterios

Los resultados de peso asignado a cada criterio se muestran en la Tabla 10Tabla 8.

**Tabla 10. Resultados de ponderación de criterios para el sector recurso hídrico**

Criterios		Total = 100	Peso (W)
Costos	Costo (CAPEX)	28	0,28
Ambiental	Impactos ambientales negativos	14(*)	0,14
	Respuesta a prioridades nacionales (NDC)	14	0,14
Socioeconómico	Oportunidades de desarrollo de capacidades y/o puestos de trabajo	8	0,8
	Capacidad de suministro de agua en zonas urbanas y rurales	18	0,18
Transversal	Nivel de respuesta a desafíos	18	0,18

Nota: (\*) El valor asignado por el grupo de trabajo fue del 16%, sin embargo, esto originaba que la suma total de ponderados sea del 102%. Por este motivo el equipo consultor realizó el cambio a un 14% teniendo en cuenta que para el grupo de trabajo los criterios de respuesta a prioridades nacionales (ND) e impactos ambientales negativo tienen la misma importancia.

Fuente: Elaboración propia.

<sup>24</sup> Ministry of Science, Technology, and Innovations. (2021). Report on the Technology Needs Assessment for the Implementation of Climate Action Plans in Brazil: Mitigation. [Enlace](#)

## B. Priorización de tecnologías

En el caso del sector recurso hídrico las tecnologías se encuentran agrupadas en: (i) gestión de riesgo de desastre, (ii) reúso de agua con fines domésticos y (iii) tecnologías de tratamiento. Sin embargo, la priorización se realizó considerando el ranking final de todo el sector.

Tabla 11. Ranking final de priorización de tecnologías para el sector recursos hídricos

Ranking	Tecnologías de gestión de riesgo	Puntaje
1	Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua	91,3
2	Modelos de proyección hidrológica	82,0
3	Sistemas de alerta temprana / Early-warning systems	63,0
4	Herramientas de monitoreo hidrometeorológico	55,0
5	Tubo de geotextil	51,0
Ranking	Tecnologías de reúso de agua con fines domésticos	Puntaje
1	Captación, tratamiento y almacenamiento de agua de lluvia	100,0
2	Reúso de aguas grises	54,0
Ranking	Tecnologías de tratamiento	Puntaje
1	Reutilización de agua residual	95,2
2	Producción de agua a partir de humedad atmosférica	61,6
3	Biofiltros para tratamiento de aguas servidas	58,8
4	Plantas desaladoras	58,0
5	Sanitización de agua mediante plasma	42,0

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.1.1. Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua

En los últimos años, se ha impulsado el uso de distintas tecnologías disponibles para la detección y localización de fugas debido a que los métodos tradicionales para identificarlas en la red de tuberías son caros y poco precisos, pues requieren realizar excavaciones para identificar las zonas de fuga, pero no siempre se realizan en las zonas correctas y se debe volver a buscar en otras áreas potenciales. En ese sentido, las tecnologías para detección y localización de fugas tienen una mayor precisión pues infieren las salidas de agua en la red con información existente que se monitorea a través de diferentes sensores dispuestos en las tuberías, así como registros históricos de data (Chen *et al.*, 2019)<sup>25</sup>. En específico, los algoritmos de *Machine Learning* registran valores de presión en la red hidráulica y, por medio de un algoritmo de clasificación denominado redes neuronales, obtiene resultados que permiten identificar posibles fugas en la red (Lobos, 2022)<sup>26</sup>.

En Chile, se desarrolló el estudio “Detección y localización de fugas en redes de distribución de agua potable en una gran ciudad de Chile mediante un algoritmo de clasificación de redes neuronales” para la comuna de Santiago en que se determinó un 73% de precisión en la identificación de fugas por el modelo; sin embargo, se consideró que la calidad y cantidad de los datos no era suficiente para

<sup>25</sup> Chen Z., Mauricio A., Li W. y Gryllias K. (2019). Multi-label fault diagnosis based on Convolutional Neural Network and Cyclic Spectral Coherence. Surveillance, Vishno and AVE conferences, INSA-Lyon, Université de Lyon, Jul 2019, Lyon, France.

<sup>26</sup> Lobos J. (2022). Detección y localización de fugas en redes de distribución de agua potable en una gran ciudad de Chile mediante un algoritmo de clasificación de redes neuronales.

su escalamiento (Gárate, 2021)<sup>27</sup>. En ese sentido, otro autor continuó esta investigación ampliando el área de estudio a 4 comunas para incrementar las fuentes de información y alcanzó una precisión superior al 90%. Este valor es concordante con otros estudios desarrollados en otros países. Por ejemplo, en Taiwán se propuso un sistema con una precisión mayor al 95% y que reducía en un 26% los costos tradicionales de detección de fugas que incluían romper las pistas para determinar las tuberías con salida de agua (Tsai, 2022)<sup>28</sup>.

Teniendo estos estudios previos en consideración, se puede inferir que es viable la aplicación de esta tecnología pero que será necesario evaluar el estado de la información histórica para que la precisión de estos modelos sea lo suficientemente alta.

#### 4.3.1.2. Captación, tratamiento y almacenamiento de agua de lluvia

La captación de aguas lluvia será relevante en áreas rurales, especialmente en países con zonas áridas, debido a las variaciones en la intensidad de las precipitaciones. Existen diversos sistemas de captación de lluvia, en este caso se recomienda el acondicionamiento de techos mediante la instalación de canaletas, bajas y tanques que permitan la recolección de agua de lluvia capturada en los techos de industrias y/o viviendas para usarlo en el riego de jardines, consumo animal e inclusive, conversión a agua potable. Para ello, se necesita analizar el nivel de precipitaciones de la zona y seleccionar el material más idóneo para la captación del recurso hídrico, el cual puede ser concreto, laminas metálicas acanaladas, tejas de cerámica, o mediante la cobertura del techo con PVC. Generalmente, en zonas rurales, se suele usar geomembranas u hormigón armado según las condiciones del lugar (Fundación Chile, 2019)<sup>29</sup>.

Debido a que es una tecnología más extendida en zonas rurales, será necesaria la implementación de proyectos piloto para evaluar su escalamiento en los sectores urbanos incluyendo al sector privado. Los miembros de la mesa de trabajo indicaron, en base a su experiencia, que los costos asociados a esta tecnología resultan variables según el tipo de material que se use, por ejemplo, en zonas rurales la inversión tiende a ser menor que en zonas urbanas debido a que se reutilizan materiales comunes en los sistemas de captación, además que en zonas urbanas se tiende a añadir sistemas de cloración que incrementan el costo. Asimismo, se indicó que la tecnología puede ser útil para descongestionar las redes de drenaje pues durante intensos y prolongados eventos de lluvia, se suele desviar el agua de lluvia a la red de drenaje provocando su colapso.

#### 4.3.1.3. Reutilización de agua residual

El reúso de aguas residuales municipales se ha impulsado desde los años 50s en Chile como una nueva fuente de agua, ya sea para riego agrícola, acuicultura, industrial, minero, riego de zonas de recreación, riego de áreas verdes, recarga artificial de acuíferos e incluso como agua potable o para higiene personal. Sin embargo, no se les suele aprovechar y en el caso de zonas costeras, son descargadas al océano en emisiones submarinas debido a que no se cuenta con derechos de aguas comprometidas aguas abajo. En ese sentido, esta medida consiste en un sistema de recuperación de las aguas residuales, anteriormente descritas, para su uso dependiendo de la calidad que posean.

<sup>27</sup> Gárate B. (2021) Detección y localización de fugas en parte de la red de distribución de aguas de Santiago, utilizando una máquina de vector de apoyo (SVM).

<sup>28</sup> Tsai, Y.-L. ; Chang, H.-C. ; Lin, S.-N. ; Chiou, A.-H. ; Lee, T.-L (2022). Using Convolutional Neural Networks in the Development of a Water Pipe Leakage and Location Identification System. Appl. Sci., 12, 8034. <https://doi.org/10.3390/app12168034>

<sup>29</sup> Fundación Chile. (2019). Escenarios Hídricos 2030- EH2030. [\[Enlace\]](#)

Para ello, se requeriría de sistemas de almacenamiento que finalmente distribuirán el agua a los sectores productivos demandantes (Fundación Chile, 2014)<sup>30</sup>.

En Chile, se elaboró el “Diagnóstico del potencial reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso” proponiendo diferentes escenarios para el reúso de dichas aguas residuales tratadas que se consideran actualmente desaprovechadas y cuyo volumen, solo para esta región, podrían alcanzar los 2,6 m<sup>3</sup>/s que alcanzarían para regar 27.300 hectáreas de uva de mesa o 10.250 hectáreas de paltos en la región, con un ingreso anual de 1.146 MM USD o 885 MM USD (Fundación Chile, 2014).

Para establecer proyectos de reúso, se deberá evaluar ciertas características sociopolíticas (voluntad política, declaración de zona de escasez hídrica y capacidad de pago, ya sea pública o privada) y atributos técnico-económicos (capacidad de acumulación, distancia desde fuente de aguas residuales a zona de abastecimiento, consumo de agua y zona de estrés hídrico). Valorizando estos criterios, se podrán establecer proyectos de interés en las regiones de Chile.

### 4.3.2. Grupo sectorial silvoagropecuario

La priorización de las tecnologías del sector se dio en dos momentos: con los asistentes de la mesa de silvoagropecuario (Tabla 17Tabla 15) y con los miembros del grupo de trabajo que no pudieron asistir al taller (post-taller). Finalmente se obtuvo los siguientes resultados:

#### A. Ponderación de criterios

Los resultados de peso asignado a cada criterio se muestran en la Tabla 12Tabla 10Tabla 8.

**Tabla 12. Resultados de ponderación de criterios para el sector silvoagropecuario**

Criterios		Total = 100	Peso (W)
Costos	Costo capital (Capex)	22	0,22
Ambiental	Reducción de vulnerabilidad de agricultores	23	0,23
	Nivel de respuesta a prioridades nacionales (NDC)	20	0,20
Económico	Productividad agrícola	22	0,22
Social	Oportunidades de desarrollo de capacidades y/o puestos de trabajo	13	0,13

Fuente: Elaboración propia.

#### B. Priorización de tecnologías

Los resultados del sector silvoagropecuario se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 13. Ranking final de priorización de tecnologías del sector silvoagropecuario**

Ranking	Tecnologías	Puntaje
1	Sistema de Alerta Temprana	88,9
2	Tecnología de Machine Learning (ML) e inteligencia artificial.	54,1
3	Sistema de Irrigación Inteligente	51,8
4	Software de Captura de Datos Agroclimática	42,0
5	Drones	40,0
6	Monitoreo satelital	33,0

Fuente: Elaboración propia.

<sup>30</sup> Fundación Chile (2014). Diagnóstico del Potencial de Reúso de Aguas Residuales Tratadas en la V Región. [\[Enlace\]](#)



#### 4.3.2.2. Sistema de alerta temprana

Un sistema de alerta temprana utiliza sistemas de comunicación integrados con el fin de ayudar a comunidades a prepararse para los peligros relacionados con el clima (United Nations, s.f.)<sup>31</sup>. Puede constar de la instalación de cámaras de monitoreo, torres de comunicaciones y uso de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) con sensores ópticos para la prevención, monitoreo y alerta temprana, además de una plataforma que acceda a la información en tiempo real. El uso de este tipo de tecnología como herramienta de apoyo a la toma de decisiones ayuda a profesionales del sector silvoagropecuario, por ejemplo, el control de agroquímicos para aumentar la productividad y rentabilidad del cultivo, o el manejo preventivo de incendios forestales.

Esta tecnología fue propuesta dentro del taller de priorización de tecnologías en el contexto de una falta de tecnologías que trabajen desde la prevención ya sea para variables agroclimáticas, plagas, enfermedades, incendios, entre otros. Además, reúne el conocimiento de la amenaza, vulnerabilidad, preparación y capacidad de respuesta (Diakonie *et al.*, 2011)<sup>32</sup>. Para el desarrollo de esta tecnología, se deberá considerar el fortalecimiento de conocimiento tanto a agricultores como a otros involucrados del sector y la población.

#### 4.3.2.3. Tecnología de machine learning (ML) e inteligencia artificial

Si bien el área de los métodos de aprendizaje automático (machine learning) para la agricultura inteligente es un campo de investigación científica en rápida expansión, aún es necesario discutir y estudiar varias preguntas de investigación abiertas. Por ejemplo, usar y mejorar métodos de aprendizaje automático para el reconocimiento de enfermedades de cultivos, detección de plagas, reconocimiento de especies de plantas, predicción de producción de cultivos, fertilización precisa, IoT agrícola inteligente, rastreo de seguridad de la cadena de suministro de materiales alimentarios, seguridad de cultivos y otros temas importantes en la agricultura inteligente (Zhang *et al.*, s.f.)<sup>33</sup>.

Un ejemplo de este tipo de tecnologías son las Redes Neuronales Artificiales (RNA), las cuales son sistemas de procesamiento de la información, cuya estructura y funcionamiento están inspirados en las redes neuronales biológicas. Las RNA están conectadas entre sí, para transmitir señales para la predicción de series temporales. Esto último es un conjunto de muestras tomadas a intervalos de tiempo regulares; para el análisis de su comportamiento a mediano y largo plazo, logrando detectar patrones de conducta, que permiten hacer pronósticos de cómo será su comportamiento futuro.

En Chile, esta tecnología podría aplicarse para la identificación de especies, modelar respuestas dinámicas de crecimiento de las plantas afectadas por cambios de temperatura, entre otros. Como se mencionó, también se puede usar para la predicción de sequías agrícolas o inclusive para averiguar el estado de madurez de ciertos cultivos y predecir el rendimiento de los cultivos teniendo en cuenta variables climáticas. Se recomendó que puedan realizarse ajustes necesarios a estas tecnologías para que pueda ser aplicado por productores agrícolas, acompañadas de capacitaciones y otras actividades que ayuden al cierre de brechas tecnológicas.

---

<sup>31</sup> United Nations (s.f.). Sistemas de Alerta Temprana. [\[Enlace\]](#)

<sup>32</sup> Diakonie et al. (2011). Sistema de Alerta Temprana SAT. [\[Enlace\]](#)

<sup>33</sup> Zhang, C. Yoon, S. Zhang, S. Park, D. (s.f.) Research Topics on Machine Learning and Artificial Intelligence for Smart Agriculture. *Frontiers Research* [\[Enlace\]](#)

#### 4.3.2.4. Sistema de irrigación inteligente

Un sistema mecanizado y automatizado, como el sistema de irrigación inteligente, puede cubrir las áreas de administración, producción, operación y finanzas aumentando la eficiencia y competitividad de empresas agrícolas o inclusive para pequeños productores. Los sistemas disponibles utilizan tecnologías de información y comunicación (TIC) para gestionar de modo óptimo la labor agrícola, capturando datos agroclimáticos mediante sensores que permitan una mejor toma de decisiones.

La implementación de este sistema puede ir acompañada de una relación de actores como agricultores, agroexportadores y juntas de propietarios, lo que ayudará a tener mayor control y seguridad de los procesos, y ahorros de por ejemplo un 30-60% en agua y energía, entre otros beneficios (Coloma, 2021)<sup>34</sup>. Para su aplicación, se pueden utilizar productos específicos que ofrecen este tipo de servicios y que permitan ahorrar agua y energía en sistemas agrícolas. Al igual que las otras dos tecnologías priorizadas, es necesario contar con un proceso de capacitación que permita el correcto y eficiente uso de la tecnología.

---

<sup>34</sup> Coloma, G (2021). Riego inteligente permite ahorrar hasta el 30% de agua a los agricultores. Info región. [\[Enlace\]](#)

## Anexos

### Anexo 1: Fichas tecnológicas (documento adjunto)

### Anexo 2: Validación de tecnologías (documento adjunto)

### Anexo 3: Tercer grupo de trabajo sectorial (documento adjunto)

El tercer grupo de trabajo se llevó a cabo el 13 de diciembre del 2022 en una reunión virtual, la cual congregó a representantes de los sectores energético, recurso hídrico, gestión de residuos y silvoagropecuario. El objetivo de esa sesión de trabajo fue la ponderación de criterios de priorización, en base a la metodología de análisis multicriterio, y la priorización de tecnologías (ver Tabla 14).

Adicionalmente, el trabajo correspondiente al tercer grupo de trabajo se extendió dos meses adicionales, con la finalidad de reunir la priorización de los actores que no pudieron asistir a la sesión virtual.

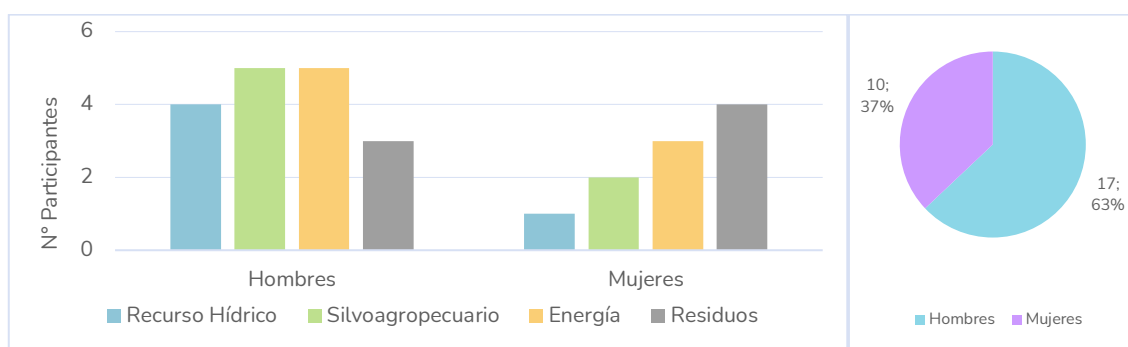
Tabla 14. Ficha resumen del tercer grupo de trabajo sectorial

Ítems	Descripción
Fecha	Martes 13 de diciembre del 2022
Hora (GMT - 3)	11:00 – 13:00 pm
Duración	2 horas
Público objetivo	Grupos de trabajo sectoriales
Objetivo general	Priorizar tecnologías para cada sector: energía, recurso hídrico, silvoagropecuario y residuos
Objetivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ponderar los criterios de priorización</li> <li>• Priorizar las tecnologías sectoriales</li> </ul>
Agenda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palabras de bienvenida a cargo del MMA</li> <li>• Objetivos del taller y avances del proyecto</li> <li>• Explicación de la metodología análisis multicriterio</li> <li>• Explicación de la dinámica de priorización</li> <li>• Sesiones de grupo para la ponderación de criterios y tecnologías</li> <li>• Retroalimentación de resultados</li> <li>• Próximos pasos y palabras finales</li> </ul>
Minutas de reunión	Documento Adjunto
Priorización de tecnologías	Documento Adjunto: Base de datos utilizado en el taller

Fuente: Elaboración propia.

La priorización de tecnologías en el marco de las TNA la cual incluyó al evento virtual (13 de diciembre) y post-taller. Esta priorización reunió un total de 27 instituciones, con representantes conformados por 63% de hombres y 37% de mujeres.

Figura 12. Participación en el grupo de trabajo por género



Fuente: Elaboración propia.

La priorización de tecnologías en el **sector de gestión de residuos** tuvo la participación de 7 instituciones del grupo de trabajo en el taller y posterior a este. La toma de decisión tuvo una participación representativa de género, donde el 57% fue representado por mujeres y el 43% por hombres. Además, contó con la participación del sector público, privado, académico y asociaciones.

**Tabla 15. Participación para la priorización de tecnologías – sector gestión de residuos**

Miembro TNA	Institución	Representante	Participación
Grupo de trabajo	Asociación Metropolitana de Municipalidades de Santiago (MSUR)	Cecilia Ardiles	Taller
Grupo de trabajo	Universidad de Santiago de Chile	René Garrido	Taller
Grupo de trabajo	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones	Álvaro Salas	Taller
Coordinador TNA	Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC)	Ismael Díaz	Taller
Coordinador TNA	Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación	Valentina Hernández	Taller
Grupo de trabajo	Fundación Basura	Macarena Guajardo	Post-taller
Grupo de trabajo	Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje (ANIR)	Antonia Biggs	Post-taller

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del **sector recurso hídrico** tuvo la participación de 5 instituciones del grupo de trabajo en el taller y posterior a este. La representación de mujeres fue del 20% y 80% representado por hombres. Las instituciones participantes fueron del sector público, academia y de la sociedad civil.

**Tabla 16. Participación para la priorización de tecnologías – sector recurso hídrico**

Miembro TNA	Institución	Representante	Participación
Grupo de trabajo	Federación Nacional de Cooperativas de Servicios Sanitarios (FESAN)	Guillermo Saavedra	Taller
Grupo de trabajo	Pontificia Universidad Católica de Chile	Juan Pablo Herane	Taller
Grupo de trabajo	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)	Rodrigo Farías	Taller
Coordinador TNA	Ministerio de Medio Ambiente	Maritza Jadrijevic	Taller
Grupo de trabajo	Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos Hídricos (CIDERH)	Jorge Olave	Post-taller

Fuente: Elaboración propia.

La priorización de tecnologías en el **sector de silvoagropecuario** tuvo la participación de 7 instituciones del grupo de trabajo en el taller y posterior a este. Estas instituciones son del sector público, la academia y asociaciones. La toma de decisión contó con la participación del 29% representado por mujeres y el 71% por hombres.

**Tabla 17. Participación para la priorización de tecnologías – sector silvoagropecuario**

Miembro TNA	Institución	Representante	Participación
Grupo de trabajo	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)	Angelina Espinoza	Taller
Grupo de trabajo	Centro de Cambio Global – Universidad Católica de Chile	Diego González	Taller
Grupo de trabajo	Instituto Forestal (INFOR)	Felipe Guzman	Taller
Coordinador TNA	Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC)	Ambrosio Yobánolo	Taller
Grupo de trabajo	CORFO	Macarena Aljaro	Taller
Grupo de trabajo	Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF)	David Castro	Post-taller
Grupo de trabajo	AGRIMED – Universidad de Chile	Fernando Santibañez	Post-taller

Fuente: Elaboración propia.

La priorización de tecnologías en el **sector de energía** tuvo la participación de 7 instituciones del grupo de trabajo en el taller, con dos representantes de SECTRA. Las instituciones participantes eran del

sector público, la academia y asociaciones. La toma de decisión tuvo una participación del 38% por mujeres y el 62% por hombres.

**Tabla 18. Participación para la priorización de tecnologías – sector energía**

Miembro TNA	Institución	Representante	Participación
Coordinador TNA	Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC)	Javier García	Taller
Grupo de trabajo	Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA)	Valeria Fuentes	Taller
Grupo de trabajo	Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA)	Gloria Fuentes	Taller
Grupo de trabajo	Centro de Energía de la Universidad de Chile	Carlos Benavides	Taller
Grupo de trabajo	Agencia de Sostenibilidad Energética (ASE)	Rodrigo Barrera	Taller
Grupo de trabajo	Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC)	Manuel Maldonado	Taller
Grupo de trabajo	H2 Chile	Isabelle Boese	Taller
Grupo de trabajo	Comisión Nacional de Energía (CNE)	Jerson Reyes	Taller

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 4: Resultados de costos y reducción de emisiones

A continuación, se presenta los costos y las reducciones de emisiones, consideradas para la priorización de las tecnologías. Adicionalmente, se adjunta los resultados preliminares enviados a los grupos de trabajo sectoriales donde se describe el resumen de los costos considerados para la priorización de las tecnologías.

### A. Sector residuos

**Tabla 19. Estructura de costos para tecnologías de prevención de generación de metano – sector residuos**

Tecnología	USD/unidad	Consideraciones	Fuente
Planta de compostaje de residuos orgánicos municipales	35,5 USD/ton	El costo de capital indicado es el 72% costo total de una HQCF (High Quality Compost Facility) que corresponde a USD49.30/ton. El HQCF produce compost para la enmienda del suelo y el paisajismo y para su uso en granjas, viveros y/o minas (para la recuperación de tierras). Se considera principalmente: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pavimentación y cercado</li> <li>- Molino de martillos horizontal</li> <li>- Volteador de hileras</li> <li>- Sistema de control de olores mediante biofiltración</li> <li>- Pantalla de trommel de pos-procesamiento</li> <li>- Almacenamiento temporal</li> <li>- Cargador frontal</li> <li>- Almohadillas de compost</li> <li>- Otros</li> </ul>	<a href="#">[Enlace]</a>
Vermicompostaje de residuos orgánicos municipales	24 USD/ton	Considera el costo capital de producción de vermicompostaje: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivelación y relleno de tierra para galpones de lombricomposta</li> <li>- Cercado y puerta</li> <li>- Cobertizo abierto con fondo de cama y plataforma revestidos de ladrillo con poste de tubería</li> <li>- Camas de vermicomposta</li> <li>- Tienda de almacenamiento</li> <li>- Palas, azadas, palancas, cestas de hierro, horca para estiércol, cubos, cestas de bambú, paleta</li> <li>- Herramientas de fontanería y montaje</li> <li>- Material de empaquetado</li> <li>- Trituradora eléctrica</li> <li>- Tamizadora</li> <li>- Muebles y enseres</li> <li>- Lombrices</li> <li>- Otros</li> </ul>	<a href="#">[Enlace]</a>

**Producto 3.2. Evaluación, priorización y validación de tecnologías clave para el cumplimiento de la TNA de Chile**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (TAP) para la implementación de la NDC de Chile

Tecnología	USD/unidad	Consideraciones	Fuente
Tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales mediante larvas de mosca soldado-negra	50 USD/ton	Los resultados del análisis financiero muestran que los costes anuales totales, suponiendo 365 toneladas de residuos al año y una depreciación media de equipos de 3 años, ascienden a unos 18.000 USD. Este escenario refleja una situación en la que toda la maquinaria se mantiene al mínimo y en la que todos los procesos dependen tanto como sea posible del trabajo manual (1 persona en la zona de cría).	<a href="#">[Enlace]</a>

**Tabla 20. Estructura de costos de tecnologías de captura y uso de metano – sector residuos**

Tecnología	USD/unidad	Consideraciones	Fuente
Digestión anaerobia para producir biogás y electricidad	33 MWh	Alrededor del 70-95% de los costos totales de biogás son para la instalación de biodigestores, y el resto involucra costos de recolección y procesamiento de materias primas. Los costos de capital se han nivelado para la vida útil de producción de cada tecnología: 20 años para biodigestores centralizados (pequeños, medianos y grandes). Estas estimaciones excluyen las inversiones necesarias para transformar el biogás en electricidad o calor, y esto puede ser considerable en algunos casos; por ejemplo, agregar una unidad de cogeneración e incluir la conexión a la red eléctrica y la distribución de recuperación de calor puede agregar un 70% adicional a los costos de un proyecto integrado.	<a href="#">[Enlace]</a>
Recuperación de gases de vertedero (LFG)	119 USD/MWh	El costo del proyecto de Captura de Gas en el vertedero Santa Marta implica la recolección y el uso de gas de vertedero para la generación de electricidad a través de sistemas de captura, quema y generación de electricidad a partir del gas metano (LFG) producido en el relleno sanitario.	<a href="#">[Enlace]</a>
Purificación de metano a partir de biogás	52 MWh	Las curvas de costos del biometano equivalen a los costos de producción de biogás más los costos adicionales necesarios para la mejora. También se incluye una evaluación de la biomasa leñosa que se puede procesar mediante gasificación. Este informe estima que el costo promedio mundial de producir biometano a través de la mejora de biogás hoy en día es de alrededor de 52USD /MWh. La mayor parte de este costo es atribuible a la producción de biogás, con un proceso de mejora que cuesta alrededor de 2USD /MBtu a 4USD /MBtu para una instalación que mejora alrededor de 3,5 millones de m <sup>3</sup> de biogás por año. El costo del proceso de actualización puede variar significativamente para diferentes tamaños de instalaciones y en diferentes regiones: por ejemplo, en América del Norte, los costos de actualización están en el extremo inferior de este rango debido a las economías de escala capturadas por tamaños de unidades más grandes.	<a href="#">[Enlace]</a>

**Tabla 21. Porcentajes de reducción de GEI – tecnologías sector residuos**

Tecnología	Porcentaje de reducción de GEI	Fuente
Planta de compostaje de residuos orgánicos municipales	32%	<a href="#">[Enlace]</a>
Vermicompostaje de residuos orgánicos municipales	40%	<a href="#">[Enlace]</a>
Tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales mediante larvas de mosca soldado-negra	50%	<a href="#">[Enlace]</a>
Digestión anaerobia para producir biogás y electricidad	30%	<a href="#">[Enlace]</a>
Recuperación de gases de vertedero (LFG)	47%	<a href="#">[Enlace]</a>
Purificación de metano a partir de biogás	30%	<a href="#">[Enlace]</a>

**B. Sector recurso hídrico**

**Tabla 22. Estructura de costos para tecnologías de gestión de riesgo – sector recurso hídrico**

Tecnología	USD/unidad	Consideraciones	Fuente
Detección y localización de fugas mediante algoritmos computacionales	100.000 USD	La ciudad de Hamilton, Ontario llevó a cabo un proyecto piloto en que utilizó los registradores de radio ZoneScan 820 para la detección de fugas de agua en tubería, el cual tuvo cuatro meses de duración. La ciudad seleccionó una zona para desplegar el registrador cada noche, los cuales se colocaban en las bocas de riego y válvulas de la red principal para detectar fugas en un radio de 200 metros. De este modo, cada noche se controlaban 7,5 kilómetros de tuberías principales. Los responsables municipales pudieron reparar a tiempo 177 fugas y realizaron la sustitución de tuberías principales, cuando fue necesario. Tradicionalmente, el costo de reparar una fuga costaba aproximadamente 5000 USD y cavaban entre 30 a 50 pozos por año.	<a href="#">[Enlace]</a>
Herramientas de monitoreo hidrometeorológico	20.000 USD	La estimación de costos para una estación de monitoreo hidrometeorológico puede resultar variable según la cantidad de factores climáticos de interés por lo que, para reducir la incertidumbre en el costo, se tomó de referencia costos aceptados por instituciones internacionales y otros países.	<a href="#">[Enlace]</a> <a href="#">[Enlace]</a>
Modelos de proyección hidrológica	20.000 USD	En este caso, el costo en tecnología de desarrollar modelos de proyección hidrológica se basa en las estaciones de monitoreo que proveen de información base por lo que se asume que el costo es el mismo del caso anterior.	<a href="#">[Enlace]</a> <a href="#">[Enlace]</a>
Sistemas de alerta temprana / Early-warning systems	5.252.000 USD	En este caso, se asumió que para un SAT se necesitaría la compra de 5 estaciones de monitoreo meteorológico y 5 estaciones de monitoreo hidrometeorológico que servirían solo para un río en base a experiencias previas de JICA <sup>35</sup> en la región; sin embargo, debido a su naturaleza, un SAT incluye más que la compra de equipos sino también la generación de sistemas de previsión y respuesta ante un eventual desastre por lo que los costos se incrementaron.	<a href="#">[Enlace]</a>
Tecnología SLAMDAN	1450 USD	Se tuvo en cuenta únicamente el costo de 1 equipo SLAMDAN con una sección de 5m de largo y una capacidad de 30 Kg.	<a href="#">[Enlace]</a>

**Tabla 23. Estructura de costos para tecnologías de aplicación doméstica – sector recurso hídrico**

Tecnología	USD/unidad	Consideraciones	Fuente
Captación, tratamiento y almacenamiento de agua lluvia	20 – 330 USD/edificio	En este caso, se asume el costo de materiales e instalación para zonas rurales de 300 m <sup>2</sup> .	<a href="#">[Enlace]</a>
Reúso de aguas grises	700 – 2000 USD/casa 1000 – 4000 USD/edificio	Incluye los costos de materiales y la instalación completa del sistema de reúso de aguas grises que va de la lavandería al riego de jardines o áreas verdes. La variación del costo ocurre en caso de que se ramifique o tecnifique el sistema de riego.	<a href="#">[Enlace]</a>

**Tabla 24. Estructura de costos para tecnologías de aplicación doméstica – sector recurso hídrico**

Tecnología	USD/unidad	Consideraciones	Fuente
Reutilización de agua residual	56.000	Incluye el costo para un sistema de reúso con fines agrícolas: 6 hectáreas de cultivo de alfalfa a un caudal de 6 L/s).	<a href="#">[Enlace]</a>
Sanitización de agua	200 USD	Incluye el costo de materiales e instalación para un equipo capaz de generar 10.000 L/día	<a href="#">[Enlace]</a>

<sup>35</sup> Agencia de Cooperación Internacional de Japón.

**Producto 3.2. Evaluación, priorización y validación de tecnologías clave para el cumplimiento de la TNA de Chile**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (TAP) para la implementación de la NDC de Chile

mediante plasma			
Biofiltros para tratamiento de aguas servidas	375.000 USD	Incluye el costo de materiales e instalación de un biofiltro para el tratamiento de efluentes provenientes de una Industria Láctea con un caudal medio de: 20 m <sup>3</sup> /h y una carga orgánica: 423 kg DBO5 /día	<a href="#">[Enlace]</a>
Producción de agua a partir de humedad atmosférica	27.800 USD	Incluye el costo de materiales e instalación de 44 atrapanieblas que en conjunto generan una superficie de captación de 3528 m <sup>2</sup> capaz de producir 10.580 L. De la zona de captación al poblado es 6.200 m. Finalmente, se asume que la vida útil de los atrapanieblas es 10 años.	<a href="#">[Enlace]</a>
Plantas desaladoras	1.480.000 - 2.020.000 USD	Además del costo de materiales e instalación, se incluyó los costos de energía eléctrica, energía térmica, productos químicos, personal, mantenimiento y repuestos	<a href="#">[Enlace]</a>

**C. Sector silvoagropecuario****Tabla 25. Estructura de costos – tecnologías del sector silvoagropecuario**

Tecnología	USD (CAPEX)	Consideraciones	Fuente
Drones	16.000	Los drones para silvoagricultura pueden costar más que los drones estándar, teniendo un monto que van desde USD 14.000 - USD 19.000 por dron. Por ejemplo, el modelo Agras T30 que cuenta con una cámara dual FPV y un tanque de 30 L puede costar USD 14.400. Asimismo, el DJI Matrice 300 RTK puede servir para análisis de salud de plantas, monitoreo de campo o seguros y con un sensor Micasense RedEdge-MX con un kit de integración de montaje rápido puede costar casi USD 20.000.	<a href="#">[Enlace]</a> <a href="#">[Enlace]</a>
Software de captura de datos agroclimática	538	Un ejemplo de software de captura de datos es Climate FieldView que permite recopilar, transmitir y analizar datos de entrada y de campo en toda operación agrícola. Los datos se almacenan de forma segura en la nube y se puede acceder a ellos a través de múltiples dispositivos y a través de la web. Tiene un costo de 99USD/año. Asimismo, incluye una unidad FieldView, cable de carga un adaptador de carga y kit de montaje para dispositivo iPad tiene un costo de USD 439.	<a href="#">[Enlace]</a>
Sistema de irrigación inteligente	7.500	Un ejemplo de sistema de irrigación inteligente es Agrosmart, la cual opera con un modelo de suscripción anual, que oscila entre USD 35 y USD 98.000, dependiendo del tamaño de los cultivos y del nivel de inteligencia y complejidad de los servicios. El costo promedio es de USD 7500.	<a href="#">[Enlace]</a>
Métodos de Machine Learning (ML) e inteligencia artificial.	3.200	Por ejemplo, una tecnología de machine learning es un sistema de control de calidad utilizando redes neuronales para la clasificación del estado de un cultivo. En este caso, los costos totales de recursos materiales ascienden a S/1569, los costos operacionales a S/ 7.000, los costos reservan de gestión a S/ 7.000 y los costos de costos Inversión a S/ 9.569. En total, los costos CAPEX ascenderían a aproximadamente USD 3.200. Este monto puede variar dependiendo del tamaño del cultivo, además del tipo de método que se use.	<a href="#">[Enlace]</a>
Monitoreo satelital	69.000	Usando datos satelitales comerciales con un tamaño de píxel de 10 a 30 m, el costo del servicio oscila entre 65.000 y 68.000 € por temporada de cultivo. El costo de los datos satelitales comprendería alrededor del 25% del costo total del servicio. Si se necesitan datos de muy alta resolución espacial (p. ej., tamaño de píxel de 5 m) (p. ej., para cubrir un mayor nivel de fragmentación del campo, parcelas más pequeñas), el costo de los datos satelitales alcanzaría alrededor del 40 % del costo total. Con la disponibilidad de datos satelitales gratuitos de la próxima misión Sentinel-2 (con una resolución espacial de 10 a 30 m), se prevé un costo promedio del servicio de alrededor de 50.000 € por temporada de cultivo. Este costo se reducirá aún más con la automatización de varios pasos de procesamiento como, por ejemplo, la corrección atmosférica.	<a href="#">[Enlace]</a>



**Producto 3.2. Evaluación, priorización y validación de tecnologías clave para el cumplimiento de la TNA de Chile**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (TAP) para la implementación de la NDC de Chile

Tecnología	USD (CAPEX)	Consideraciones	Fuente
Sistema de alerta temprana	35.000	En el caso de Argentina, el proyecto busca implementar el uso de herramientas tecnológicas para modernizar el sistema de prevención, monitoreo y alerta temprana de incendios forestales de las provincias de Neuquén, Río Negro y Tierra del Fuego. Demandó una inversión de más de \$6.000.000, de los cuales \$4.600.000 fueron financiados por Nación. Esto corresponde a aproximadamente a USD 35.000.	<a href="#">[Enlace]</a>

**D. Sector energía****Tabla 26. Estructura de costos las tecnologías del subsector red eléctrica –sector energía**

Tecnología	USD (CAPEX)	Consideraciones	Fuente
Plantas de Concentración Solar en Potencia (CSP)	6.000 USD/kW	Los gastos de capital se determinan mediante modelos de costes de fabricación y se comparan con los datos del sector, El rendimiento y el coste de los CSP se basan en la tecnología de torre de energía de sales fundidas con refrigeración seca para reducir el consumo de agua. Este sistema contaría con un gasto de capital de \$6000 USD/kW. Es el caso de 247 Solar, quienes para la instalación de la primera Planta de Concentración Solar en Marruecos con una capacidad de 400kW, estimaron un CAPEX de \$5900/kW.	<a href="#">[Enlace]</a>
Almacenamiento basado en baterías	3.500 USD/kW	Los costos de baterías del tipo ion litio es se encuentran entre 900-3500 USD/kW.  La estandarización de los costos de almacenamiento utilizando baterías de iones de litio para el año 2020 se estimó en un promedio de \$1900/kW, costo estimado para un ciclo de almacenamiento de 6 horas por día. Adicionalmente, se estiman costos de operación y mantenimiento de \$35/kW. Vida útil estimada: 15 años.	<a href="#">[Enlace]</a> <a href="#">[Enlace]</a>
Red inteligente - enfocado en medidores inteligentes	3,5 USD/kW	En Chile, se tiene planeada la instalación de cerca de 6.000.000 de medidores inteligentes para el monitoreo del consumo eléctrico para el año 2025 con un costo estimado de 1.000 millones USD. Se estima que el costo de inversión por unidades estaría entre los 100 USD y 132 USD.  Considerando una capacidad instalada de 28.495 MW (al 2021), se calcula el costo de 3,509 USD por cada kW de capacidad instalada en el país.	<a href="#">[Enlace]</a> <a href="#">[Enlace]</a>
Micro aerogeneradores para edificios comerciales o residenciales	4.230 USD/kW	En países como España, el costo de aerogenerador para un edificio público oscila entre los USD 1075 a USD 2150 por kW de potencia y se estima que se recuperaría la inversión en un plazo de 8 a 10 años.  En Perú se realizó una estimación del costo de instalación de un aerogenerador de 1,8 kW por un valor total de USD 7615 (4.230 USD/kW)	<a href="#">[Enlace]</a>

**Tabla 27. Estructura de costos las tecnologías del subsector transporte–sector energía**

Tecnología	USD	Consideraciones	Fuente
Sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) en regiones	15.000.000	Los costos de instalación de los BRT pueden variar entre 1 a \$15 millones USD por km, dependiendo de la capacidad requerida, el contexto urbano y la complejidad del proyecto.	[Enlace]
Estaciones de carga solar para vehículos eléctricos	65.000	Las estaciones de carga para motocicletas eléctricas son un sistema compuesto por el módulo fotovoltaico genérico con un costo de 6.916 USD, un sistema de almacenamiento con un costo estimado en 40.000 USD y el convertidor del sistema con costo de 3500 USD. Así, se estima que el sistema total tendría un costo capital de 50.416 USD. Mientras que el precio de una estación de carga de vehículos eléctricos fuera de la red (fotovoltaica) promedio es de unos 65.000 USD.	[Enlace] [Enlace]
Hidrógeno verde para transporte (celda de combustible)	39.108	Se estimó que el costo de inversión para la adquisición de una celda de hidrógeno en el año 2020 para un FCET 2020 (Fuel Cell Electrical Truck: Camión eléctrico de pila de combustible) fue de aproximadamente 384 200 NOK (39108 USD).	[Enlace]
Desarrollo Orientado al Tránsito	1.000.000	La ciudad de Phoenix contará con un monto de inversión de \$1.000 USD para la planificación del DOT a lo largo de la línea de metro ligero propuesta a inaugurarse en 2024. El monto será invertido en apoyo a viviendas asequibles, aumento de acceso a peatones y bicicletas a los centros de tránsito. Por otro lado, el Departamento de Transporte y Obras Públicas de Miami contará con un presupuesto de \$840.000 USD para el desarrollo de su DOT a lo largo del corredor de tránsito del noroeste. La agencia se asociará con los propietarios para alentar a TOD a lo largo del corredor para mejorar la movilidad, mejorar la conectividad y la accesibilidad, proporcionar acceso para bicicletas y peatones a las estaciones, aumentar el desarrollo de uso mixto e identificar oportunidades para asociaciones público-privadas.	[Enlace]
Movilidad inteligente, enfocado en sistema de tarjetas inteligentes	47.800.000	Para las ciudades de Los Ángeles y Filadelfia en Estados Unidos, se estimó que el costo de inversión de la implementación de un sistema de tarjetas inteligentes para los principales operadores del sistema de Transporte Público sería de 35,5 millones USD y 47.8 millones USD, respectivamente para cada ciudad. Estos costos incluirían la compra y mejora de equipamientos e infraestructura que compone el nuevo sistema.	[Enlace]

