



# Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG) en la zona Central de Chile

Edmundo Claro - Noviembre de 2025

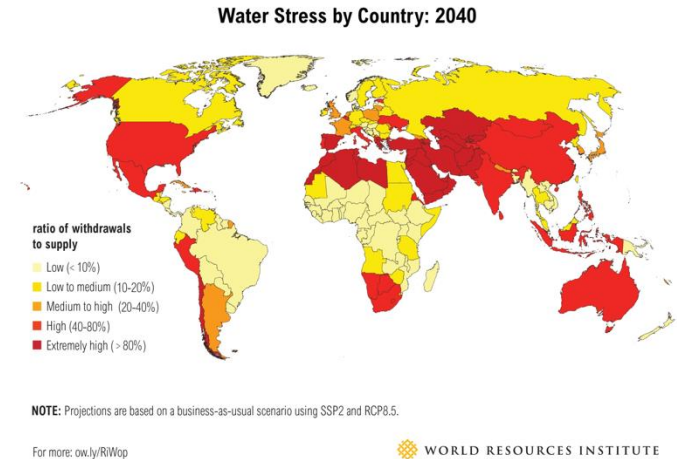
# Contenidos

1. Introducción y contexto
2. Recarga de Acuíferos Gestionada: concepto, beneficios y métodos
3. Estado de implementación y desafíos
4. Algunas reflexiones



# La Crisis Hídrica: un Riesgo Global y Nacional

- El Foro Económico Mundial identifica la crisis del agua como uno de los tres principales riesgos globales
- En términos globales, Chile posee abundantes recursos hídricos: 53.000 m<sup>3</sup>/ habitante > 2.000 estándar mundial
- Aparentemente, Chile debiese estar bien preparado para hacer frente a este riesgo
- Sin embargo, hay mucha agua en el sur y muy poca en el norte; el desafío está en el desequilibrio geográfico de los recursos
- Así, Chile es calificado como un país de alto riesgo hídrico, ocupando el lugar 18 en el mundo en términos de vulnerabilidad



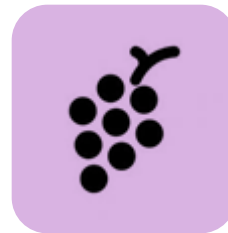
# El Contexto Crítico en la Zona Central de Chile

- Una megasequía prolongada entre 2010 y 2023: **década con menores precipitaciones desde que se tiene registro**
- Los ríos presentaron **caudales inferiores a sus promedios** y muchos estuvieron bajo de su **mínimo histórico**
- Se observa una **disminución de la cobertura de nieve** en Chile desde 1986 hasta la fecha
- Muchos **ecosistemas estresados** hídricamente
- Se **redujo drásticamente la recarga** natural de los acuíferos
- Simultáneamente, **se intensificó la extracción de agua subterránea** para compensar la escasez de agua superficial, lo que condujo a la sobreexplotación de acuíferos
- Con una **demanda superior a la recarga natural**



# El Doble Impacto del Cambio Climático y la Demanda

- Debido al cambio climático, se espera una disminución de la oferta natural de agua :
  - menos lluvias, pero más concentradas
  - mayor temperatura
  - menor acumulación de nieve en la cordillera
- Simultáneamente, se espera un aumento de la demanda:
  - por consumir agua en los sectores productivos (agricultura, minería, industria)
  - por dejar agua sin consumir para beneficio de los ecosistemas
- Si la gestión sigue reactiva y similar:
  - conflictos sociales
  - deterioro de los ecosistemas y
  - pérdidas económicas significativas



Agricultura



Ciudadanos



Minería



Medio  
ambiente

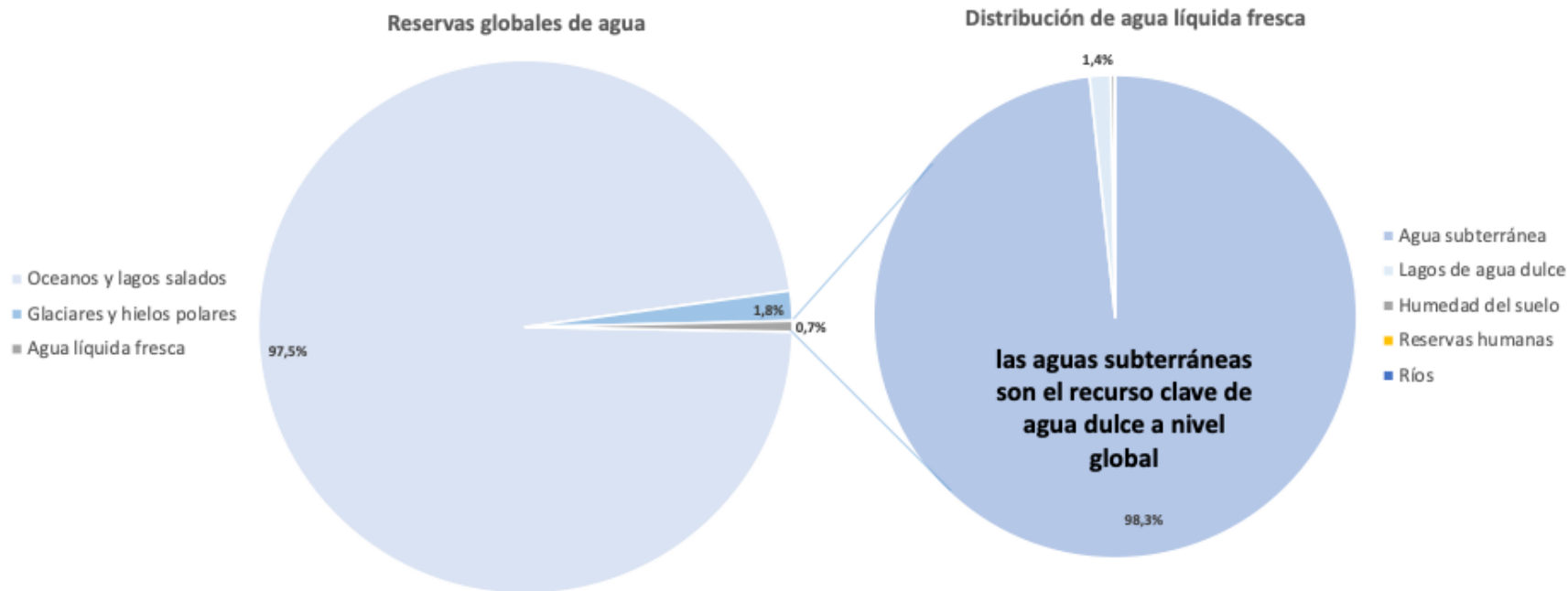


# ¿Qué podemos hacer?

- No hay una respuesta única; se debe avanzar simultáneamente en:
  - Reducir el consumo (eficiencia hídrica)
  - Aumentar la oferta (desalinización, reciclaje de agua)
  - Aumentar el almacenamiento (embalses, recarga de acuíferos)
- Se requiere una gestión del recurso hídrico de manera:
  - Integrada
  - Acordada
  - Basada en la mejor ciencia disponible.



# Relevancia de las aguas subterráneas



- En Chile las aguas subterráneas son importantes como recurso activo, particularmente desde la zona central hacia el norte: Atacama 58%, Coquimbo 19%, Valparaíso 31%, RM 12%
- Futuro: mayor demanda + menor disponibilidad → mayor relevancia del agua subterránea, mayor necesidad de gestionarla

# ¿Qué es la Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG)?

- Conjunto de métodos utilizados para recargar agua a los acuíferos, **de manera intencional**
- **Aumenta la tasa de recarga “natural”** con agua superficial disponible
- La RAG es importante para la **recuperar los niveles de los acuíferos**:
  - Aumento extracciones
  - Aumento superficies impermeables
  - De riego por gravedad a tecnificado
  - Cambio climático
- Se usa para:
  - su **recuperación y uso posterior** o
  - para la obtención de un **beneficio ambiental**





# ¿Recarga de Acuíferos o RAG?

RECARGA DE ACUIFEROS		
No intencional	No gestionada	Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Fugas de conducciones de agua y de alcantarillado</li><li>• Percolación profunda del agua de riego</li><li>• Desbroce de vegetación de raíces profundas o labranza del suelo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pozos de drenaje de aguas pluviales y sumideros</li><li>• Lixiviación de tanques sépticos</li><li>• Eliminación de agua industrial o de procedencia minera en sumideros</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estructuras diseñadas: ej. pozos de inyección, piscinas de infiltración, presas, filtración inducida en riberas, tratamiento en zona no saturada (SAT) etc.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sin gestión de la calidad ni cantidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gestión limitada de la calidad del agua</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Gestión del volumen y calidad</b> del agua</li></ul>

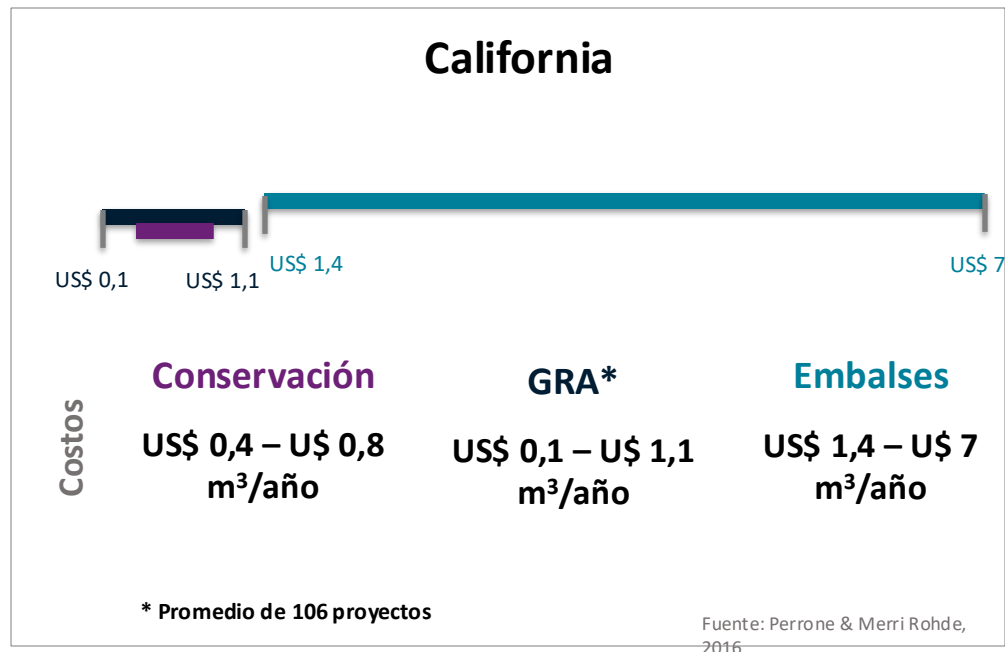
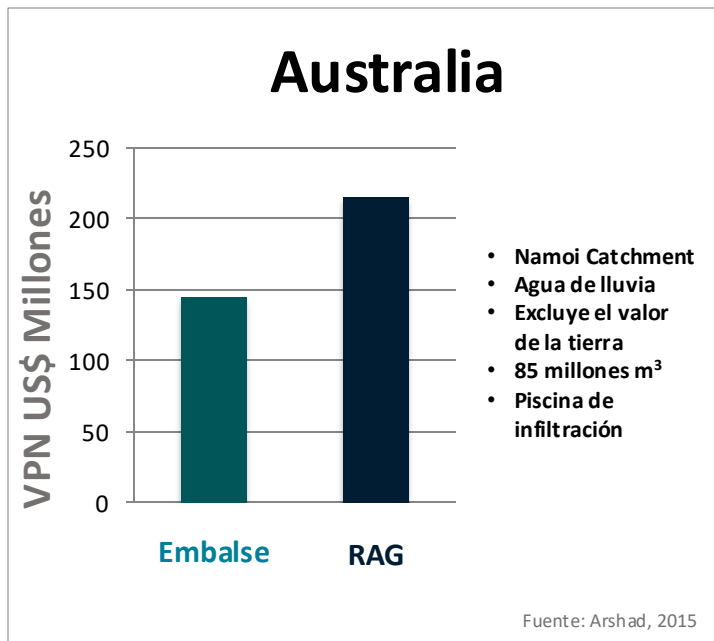
# Ventajas de RAG vs. Almacenamiento Superficial

- La RAG es una alternativa atractiva frente a los embalses:
  - Corresponde a un **fenómeno natural** que puede ser potenciado
  - Requiere de **menos terreno**
  - **Menor evaporación**
  - **Menor costo**
  - Es una estrategia flexible con **riesgo controlado**
  - **Mayor aceptación** que los embalses superficiales
  - Fomenta la **gestión integrada** de las aguas superficiales y subterráneas



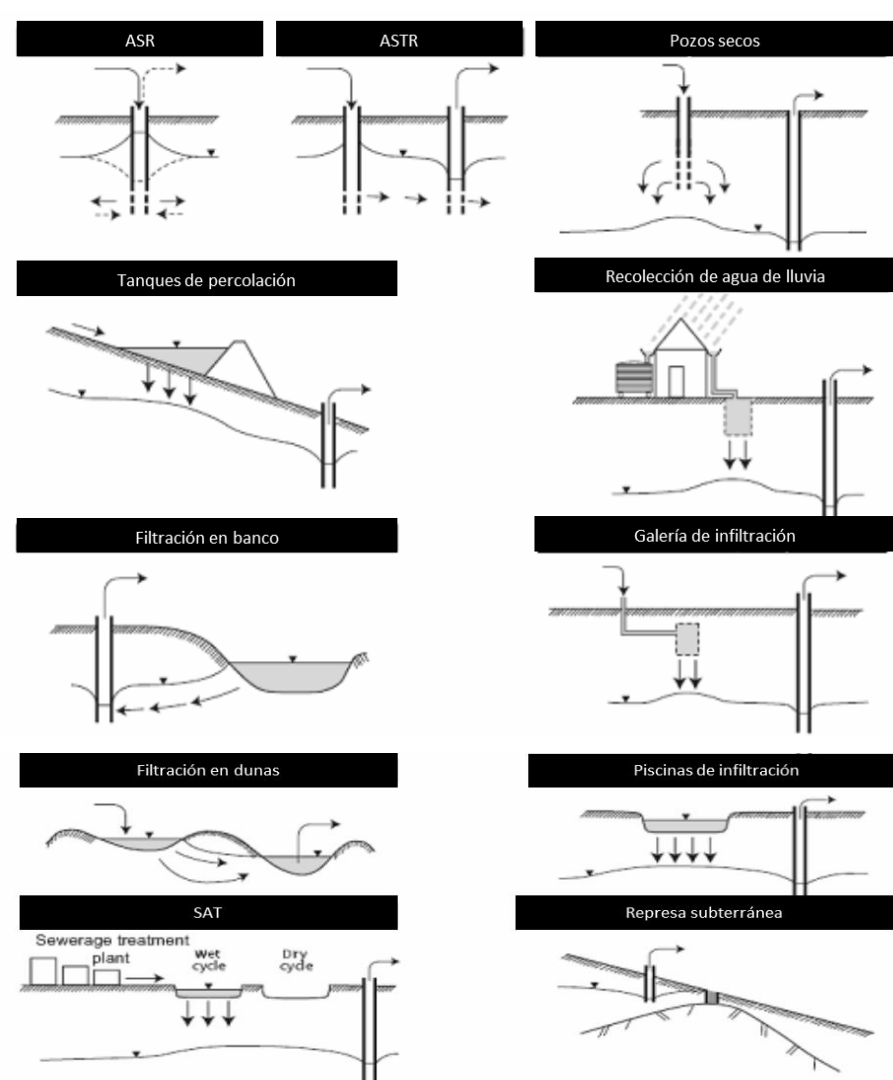
# ¿Por qué la RAG?

## Alternativas de almacenamiento de agua



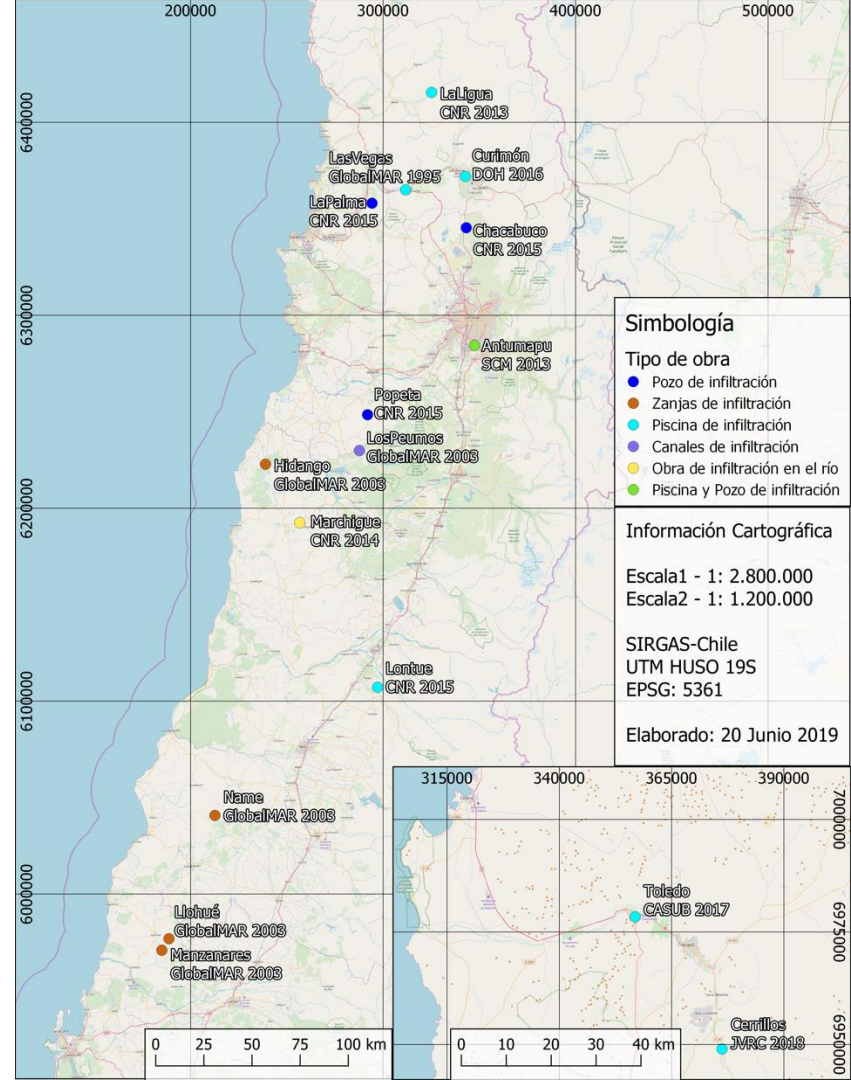
# Tipos de Técnicas RAG

- Existen muchas técnicas de RA:
  - piscinas de infiltración (más del 50% del uso global)
  - pozos de recarga (por gravedad o inyección)
  - canales de riego
  - recolección e infiltración de aguas lluvias, etc.
- El método más adecuado depende de la configuración hidrogeológica local, el espacio disponible y otros factores.



# ¿Qué está pasando en Chile?

- El desarrollo de la RAG ha sido lento
- Representa menos del 0,5% de las extracciones
- Se han identificado solo alrededor de 11 a 15 iniciativas principales
  - Privados – agricultura y agua potable
  - Públicos – agricultura y agua potable rural
- Muchas son a baja escala, con poca gestión y una fracción importante están inoperativas
- Muchas iniciativas:
  - a baja escala
  - bajo grado de formalidad
  - con poca gestión
  - muchas quedaron en la etapa piloto





# Experiencias Exitosas

- Los proyectos más exitosos han sido liderados por Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA), principalmente en la cuenca de Copiapó
- Proyecto Toledo (2017):
  - 3 piscinas de infiltración,
  - bajo costo (\$0.0053 USD/m<sup>3</sup>),
  - solo posible con excedentes de precipitación extrema
- Proyecto Manflas (2022):
  - recarga por gravedad,
  - pozo agrícola en desuso, >401.000 m<sup>3</sup> (tasa promedio de 15 L/s),
  - modelo replicable y de bajo costo



# Desafíos Legales y de Gobernanza

- La gestión actual se apoya en medidas de emergencia (p. ej., Decretos de Escasez Hídrica) y carece de instrumentos proactivos para capturar y almacenar excedentes en años húmedos.
- Solo 15 de 375 SHAC (Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común) cuentan con Comunidades de Aguas Subterráneas activas, limitando una gestión integrada y adaptativa.
- Persiste inseguridad jurídica sobre la propiedad del agua recargada: se puede infiltrar, pero no existe garantía de recuperarla, lo que desincentiva la inversión.



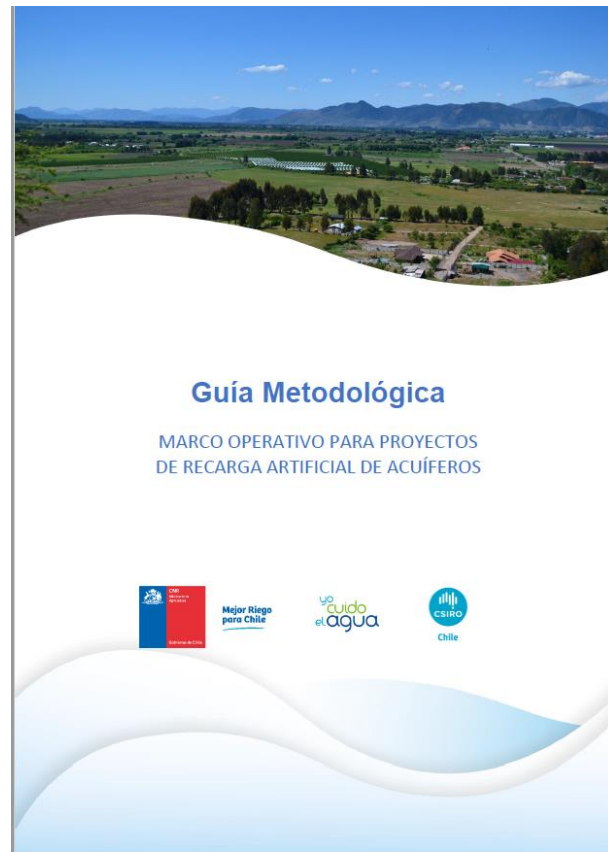
# Desafíos Ambientales y Restricciones Técnicas

- La RAG se ha basado en excedentes superficiales cada vez más escasos e impredecibles, urgiendo diversificar fuentes
- La ley exige que el agua de recarga sea de calidad igual o mejor que la del acuífero, aplicando un principio de precaución conservador
- Se restringe el uso de alternativas probadas internacionalmente (p. ej., aguas residuales tratadas), ignorando la filtración natural del subsuelo
- Faltan detalles sobre geometría, conectividad y dinámica de los acuíferos; los datos son antiguos o de baja resolución
- Monitoreo débil y corto (3–4 años) dificulta evaluar tendencias y efectos reales de la RAG



# El Marco Operativo RAG de la CNR: Un Primer Paso

- La CNR publicó una Guía Metodológica (2020) para el sector agrícola
- No es oficial y no exige su cumplimiento, más bien su objetivo es guiar al usuario, mejorar las prácticas actuales y aumentar la confianza en proyectos RAG
- La guía promueve proyectos de bajo riesgo, de escala principalmente comunitaria y utiliza un enfoque por fases:
  - Viabilidad (escritorio)
  - Factibilidad (terreno)
  - Diseño/Operación
- Este enfoque minimiza los riesgos financieros al permitir detener tempranamente proyectos no viables



# La Relevancia de la Gobernanza

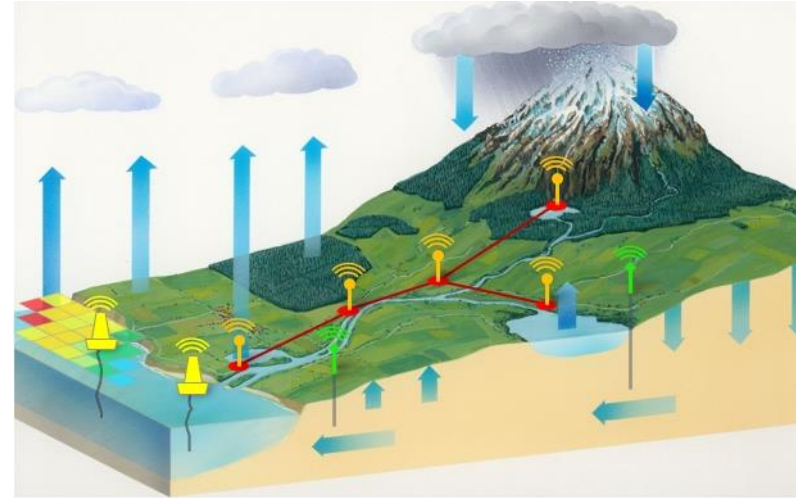
- Tal como dice la OCDE, no basta con sólo las inversiones en infraestructura física.
- Estas deben ir acompañadas de instituciones que gestionen el agua y permitan
  - “coordinar mejor las acciones en los sectores público, privado y sin fines de lucro “ y “gestionar compromisos entre usuarios”
- Especialmente cierto en la gestión del agua subterránea, en donde el desacuerdo sobre los hechos de facto prevalece entre los propios expertos
- Lo más importante es la legitimidad del proceso, la validación de las decisiones tomadas por el conjunto de actores con intereses en el recurso
- Se debe articular la mejor ciencia aplicada con el conocimiento local informal de los actores para lograr legitimidad y utilidad





# Aumentando la RAG en Chile

- Mirada amplia y de gestión integrada del agua:
  - RAG puede ser una buena alternativa...
  - pero requiere una mirada sistémica (y holística) del territorio a nivel de cuenca
- Para aumentar la adopción de RAG en Chile:
  - Promover la recopilación, intercambio y análisis de información sobre RAG y los acuíferos en Chile
  - Mapeo de zonas potenciales (y prioritarias) para RAG
  - Construir confianza a través del desarrollo y difusión de proyectos exitosos
- Socios locales: fundamentales para los procesos participativos, la comprensión local y la generación de confianza
- Inclusión vertical v/s horizontal: Bastante participación de sectores con conocimiento formal/elite (académicos, autoridades, empresas, ONGs), poca del conocimiento informal o local



# Gestión Inteligente del Agua

- La sequía es un fenómeno socio-hidrológico: surge de la interacción entre disponibilidad y comportamiento humano, que modifica procesos como la infiltración y la escorrentía
- Gestión actual estática y reactiva: las normas cambian solo cuando ríos y acuíferos ya están en crisis; en aguas subterráneas ni siquiera existen mecanismos dinámicos como alícuotas
- Necesidad de dinamismo en la extracción: el consumo debe ajustarse periódicamente a la oferta natural de agua, con límites variables según almacenamiento y condiciones climáticas
- Base científica para tomar decisiones: medir, modelar y proyectar el comportamiento de cuencas y acuíferos es esencial para ajustar el consumo y priorizar (humano, ecosistemas y productivos).



# Referencias

- Bennison, G. y Claro, E., 2024. Managed Aquifer Recharge in Chile: A Promising Alternative to Enhance Water Security. In *Managed Groundwater Recharge and Rainwater Harvesting: Outlook from Developing Countries* (pp. 151-178). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Rivera-Vidal, R., Arumí, J.L., Melo, O., Delgado, V., Parra, V., Stehr, A. y Daniele, L., 2025. Managed Aquifer Recharge Implementation Challenges: Lessons from Chile's Water-Scarce Regions. *Groundwater for Sustainable Development*, p.101502.
- Van Loon, A. F., Gleeson, T., Clark, J., Van Dijk, A. I. J. M., Stahl, K., Hannaford, J., Di Baldassarre, G., Teuling, A. J., Tallaksen, L. M., Uijlenhoet, R., Hannah, D. M., Sheffield, J., Svoboda, M., Verbeiren, B., Wagener, T., Rangelcroft, S., Wanders, N., and Van Lanen, H. A. J. 2016. Drought in the Anthropocene. *Nature Geoscience* (9): 89–91, doi:10.1038/ngeo2646.



# MUCHAS GRACIAS

Edmundo Claro - Noviembre de 2025

