

## **Geociencias y Riesgo Hídrico**

Igor Aguirre  
Geólogo, Mg. en Hidrogeología

Variadas son las opiniones desde el ámbito político y privado respecto a temas del agua, muchas veces basados en creencias o antecedentes sin base científica, los que contrastados con mi experiencia profesional, motivan el poder contribuir a aportar a esta discusión con un punto de vista basado en las Ciencias de la Tierra. Para lo anterior revisé documentación generada por la UNESCO, GWP (2020), CNID (2016), SEA (2017, 2020), ALHSUD (2020) y USGS \*(ver explicación al final del artículo), entre otras fuentes, con lo cual argumento la necesidad de reducir el riesgo hídrico por falta de disponibilidad del recurso hídrico o debido a la ocurrencia de fenómenos aluvionales y de inundación, y planteo recomendaciones de lineamientos en los cuales las Geociencias pueden aportar a este fin. Finalmente, presento un diagnóstico de las instituciones chilenas en relación a los temas del agua y la urgente necesidad de avanzar en aumentar y disponer de información hídrica de carácter pública mediante instituciones que centralicen este conocimiento con lineamientos y tareas que trasciendan la política de turno sobre la base de directrices técnicas.

### **¿Por qué reducir el Riesgo Hídrico?**

A principios de este siglo, la UNESCO planteó los Objetivos de Desarrollo Milenio como una estrategia para defender los principios de dignidad humana, igualdad y equidad, y liberar al mundo de la pobreza extrema a través de medidas y plazos mensurables. En este marco, una de las metas establecidas fue reducir el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento. Además, en 2010 se reconoció explícitamente el derecho humano al agua y saneamiento, reafirmando que un agua limpia y contar con servicios básicos de saneamiento son esenciales para la realización de todos los Derechos Humanos.

En particular, Agua y Saneamiento ha sido direccionado por la ONU como objetivo orientado a garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Para ello destaco las siguientes metas concretas a lograr antes del año 2030:

- Acceso universal al agua potable y a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos.
- Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación.

- Aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua para enfrentar la escasez.
- Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos humedales, acuíferos, y otros

Complementariamente, la GWP sostiene que el desarrollo sostenible no será alcanzado sin un mundo con Seguridad Hídrica. Sin embargo, esta seguridad se ve comprometida por crisis financieras, y cambio en los patrones climáticos causantes de inundaciones y sequías catastróficas con un impacto negativo sobre la vida, el empleo, los servicios sociales y la infraestructura. El desafío es procurar un acceso al agua sostenible en el tiempo, obligando a entender los recursos hídricos en su dimensión ecosistémica, surgiendo así el término Seguridad Hídrica, definido como la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua (Grey y Sadoff 2007, GWP, 2010). Un mundo con Seguridad Hídrica reduce la pobreza, promueve la educación y aumenta los estándares de vida e implica erradicar la responsabilidad fragmentada por el agua e integrar la gestión de los recursos hídricos a través de todos los sectores. Para alcanzarla es necesario que ocurran cambios fundamentales en los valores, creencias, percepciones y posiciones políticas, no sólo en las instituciones de gestión del agua, sino también en cada una de las partes interesadas ([www.gwp.org](http://www.gwp.org)). Es necesario diagnosticar sus componentes los cuales corresponden a la cantidad y calidad del agua, la infraestructura, el balance hídrico entre oferta y demanda, las políticas de gestión hídrica y gobernanza.

Paralelamente la WWF a nivel global ha desarrollado una herramienta con el fin de aportar a transparentar los riesgos a los que podrían estar afectos distintas actividades productivas, mejorando con ello la evaluación y mitigación del Riesgo Hídrico. La herramienta utiliza datos actualizados anualmente que ayudan a priorizar el Riesgo Hídrico para los usuarios, recomendando acciones de mitigación, anticipándose a los futuros cambios en los recursos hídricos. Sin embargo, la limitación de esta herramienta y de otros diagnósticos técnicos radica en la calidad y precisión de la información utilizada para el análisis, tanto a nivel macro, como de sitio específico. En este sentido, las Ciencias de la Tierra resultan relevantes en cuanto a disminuir las brechas de gran parte de esta información, generando mayor y mejor conocimiento de los factores y procesos que puedan contribuir a disminuir el Riesgo Hídrico.

## **El aporte de las Ciencias de la Tierra a la reducción del Riesgo Hídrico en Chile**

El crecimiento de la demanda de recursos hídricos y particularmente de las aguas subterráneas y los escenarios de cambio climático, exigen el soporte de una ciencia que contribuya a optimizar la extracción de estos recursos y mitigar sus efectos adversos, manejar posibles afectaciones a su calidad y comprender los procesos ecológicos y climatológicos para aportar el desarrollo de proyectos productivos y también para proporcionar a quienes desde el punto de vista administrativo o regulador deben tomar decisiones de herramientas que permitan mitigar estos impactos. Los geocientistas ya sea desde la sociedad civil, academia, gobierno e industria son claves para traducir y transmitir este conocimiento e informar a quienes puedan desarrollar acciones orientadas a la sostenibilidad y disminución del Riesgo Hídrico, que hoy en día exigen estrecha colaboración con otras disciplinas como la ingeniería, ecología, salud, ciencias sociales, antropología, u otras. En este sentido la colaboración y la educación relacionada será base para una futura comunidad informada y conscientemente participativa.

Las Ciencias de la Tierra encierran respuestas fundamentales a los retos que debemos superar para preservar, gestionar y mejorar nuestro medio ambiente, desarrollar la sostenibilidad y en particular para evaluar adecuadamente el Riesgo Hídrico contribuyendo a disminuirlo. Bajo la denominación de Ciencias de la Tierra o su contracción Geociencias se incluye un conjunto de disciplinas científicas que construyen conocimientos sobre la Tierra. Dichos conocimientos, también son aplicados a la búsqueda y evaluación de recursos naturales en general y particularmente de los recursos hídricos; a mejorar su aprovechamiento y a prevenir riesgos provocados por inundaciones, avalanchas y de contaminación de aguas y suelos. Disciplinas que aportan conocimiento de base a ello corresponden a: Geología Regional, Estructural, Económica y Volcanología. Sin embargo, aquellas especialmente preparadas para profundizar en los aspectos de Seguridad Hídrica corresponden a la Hidrogeología y Riesgos Geológicos, apoyadas por otras como la Geotecnia, Geoquímica y Geofísica siendo sintetizadas y orientadas al Ordenamiento Territorial y temas específicos por las Geociencias Ambientales.

Un ejemplo concreto de las brechas que las Ciencias de la Tierra han aportado a la Seguridad Hídrica es el alcanzado por el US Geological Survey, agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos encargada de desarrollar ciencia sobre los peligros naturales que amenazan vidas y medios de subsistencia; el agua y otros recursos naturales; la salud de los ecosistemas y medio ambiente; y los impactos del cambio climático y de uso de la tierra. Aquí no sólo desarrollan cartografía geológica, sino que nuevos métodos y herramientas para proporcionar información oportuna, relevante y útil sobre la Tierra y sus procesos. Con su lema “Ciencia para un mundo cambiante”, se destaca el desarrollo de softwares (por ej. MODFLOW), disposición de información de monitoreo online y otras herramientas para procesar

información presente y evaluar escenarios futuros y facilitar la toma de decisiones respecto a recursos hídricos, entre otros ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)).

Si bien en Chile nuestro ordenamiento institucional no ha logrado lo anterior, o que se acerque a esto, disponer de información y conocimiento de base sobre nuestros recursos hídricos es una condición indispensable para sustentar una buena gestión del agua a nivel local, regional y nacional. Es por ello que esta condición es prioridad junto con ampliar la captura de datos, perfeccionar su procesamiento, y asegurar su calidad, indispensables para el uso de esta información. Por ello, se espera que al año 2030 Chile alcance el conocimiento, el desarrollo de las tecnologías y la gestión que le permitan contar con seguridad y disponibilidad de recursos hídricos para el consumo humano, desarrollo productivo y ecosistemas. Comprender este desafío supone considerar las mayores demandas que plantean el crecimiento de la población y de las actividades económicas, los efectos del cambio climático y también el impacto de las alteraciones que hemos introducido en el funcionamiento de los ecosistemas y en el ciclo del agua en diversos territorios, y la falta de conciencia de su valor que tenemos como ciudadanos. Las alteraciones que hemos producido son en algunos casos irreversibles, tienen efectos no solo en la disponibilidad de agua, sino que también redundan en mayores niveles de riesgo para la población.

Para el logro de estos objetivos se aspira a que al año 2030 Chile cuente con una red hidrométrica robusta en todas sus variables hidrometeorológicas e hidrogeológicas, que integre indicadores biológicos que permitan evaluar la sostenibilidad de los ecosistemas y que la información recabada por las diferentes agencias públicas esté integrada en una plataforma con datos accesibles, actualizados y confiables para todos los actores que gestionan el agua. Esta plataforma debe ser complementada en su información con las capacidades de los usuarios de generar conocimiento para la GIRH. Además para mejorar la gestión de sistemas hídricos se consideran prioritarias iniciativas que apunten modernizar el conocimiento asociado a la modelación conceptual y numérica de las aguas subterráneas y también aquella integrada superficial-subterránea. Sin embargo, para lograr lo anterior, es fundamental mejorar el conocimiento asociado a la estimación del volumen de agua disponible en los acuíferos, su calidad, recarga y descarga. Por ello junto con fomentar la generación de un mayor conocimiento de la geometría y parámetros acuíferos, es fundamental elaborar y actualizar cartografía hidrogeológica a la vez de implementar sistemas de medición que persistan en el tiempo para cuantificar estas componentes y particularmente la explotación efectiva y los efectos de ella en su área de influencia.

Actualmente, en Chile, los desafíos para la comprensión de los recursos hídricos subterráneos incluyen el desarrollo de estudios de acuíferos en roca, y a mi juicio, también en ambientes asociados a secuencias volcanosedimentarias oligo-

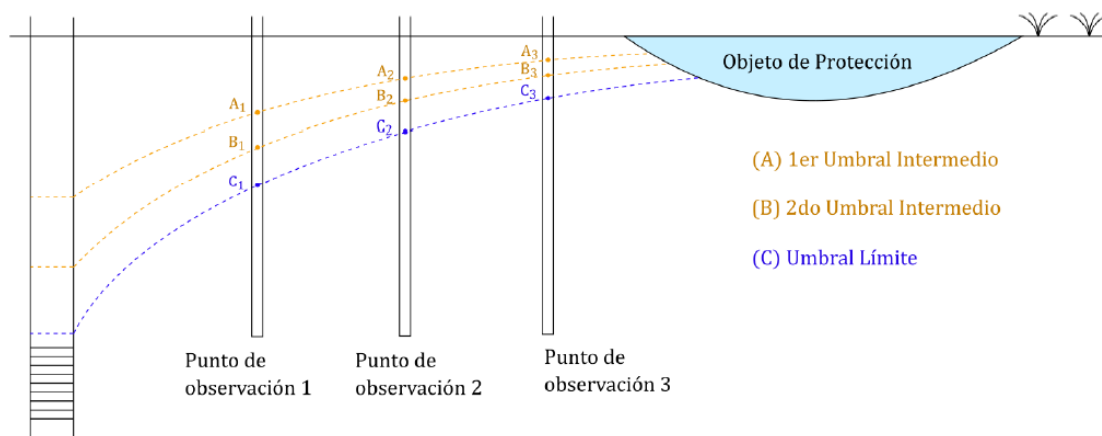
miocenas de gran espesor y doble porosidad, como los existentes en el valle central desde Santiago al sur hasta Puerto Montt o en sectores del Norte Grande de Chile, y también en ambientes de humedales, zonas costeras, e incluso avanzar en el conocimiento de la posible presencia de recursos de agua dulce en plataforma marina, entre otros.

Paralelamente se requiere aumentar el conocimiento de los procesos de recarga natural y artificial de los acuíferos y de la interacción de ríos, canales y sistemas de riego con los acuíferos. En aspectos de hidrología de montañas junto con aumentar el conocimiento del rol de los glaciares en la producción de agua es relevante conocer y documentar la variabilidad climática y sus tendencias; origen, recurrencia e intensidad de los eventos de precipitación extremos, pronósticos y modelación para la predicción hidrológica de corto plazo, mediano y largo plazo para evaluar factibilidad de renovación de los recursos hídricos y de riesgos de generación de inundaciones y aluviones. Para las zonas áridas se ha recomendado avanzar con un mayor conocimiento del origen de aguas subterráneas, su capacidad de renovación, características geoquímicas, identificación de sus áreas de recarga, y mejorar las estimaciones de su descarga por evaporación desde suelos húmedos en salares y humedales. En cuanto a la identificación de fuentes de contaminación, tales como pasivos ambientales, vertederos u otros sitios de acopio de materiales potencialmente contaminantes, mejorar el monitoreo de las subterráneas que a su vez permitan alertar anticipadamente eventos y modelar su calidad para la evaluación de alternativas de remediación y/o atenuación de posibles eventos de contaminación.

Desde el punto de vista ambiental, hoy en día en Chile existen los PAT utilizados por la DGA en el contexto del otorgamiento de ciertos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas como mecanismo preventivo para proteger sistemas sujetos a un potencial grado de afectación, los que también han sido incorporados por el SEA en el marco de la evaluación ambiental como herramienta de gestión ambiental en proyectos donde el recurso hidrogeológico es esencial para el sustento de ecosistemas dependientes. Estos PAT consideran acciones preventivas orientadas a impedir que se supere el impacto evaluado y aprobado en la RCA. Se entenderá el PAT como una aplicación del SA para la componente hidrogeológica, cuyo objetivo es la mantención de las variables ambientales dentro de lo proyectado y aprobado ambientalmente (SEA, 2017 y SEA, 2020). Sin lugar a dudas la variabilidad en la geometría y arquitectura acuífera y de sus parámetros hidrogeológicos, la posición relativa de los puntos de extracción de aguas subterráneas y de ecosistemas alimentados por estos recursos, y la temporalidad de su recarga son esenciales para la construcción y desarrollo de los PAT. En ello la hidrogeología y ecología son fundamentales para el diseño, control y modelación de escenarios futuros (Figura 1).

## Educación, financiamiento y acciones para reducir el Riesgo Hídrico

Adecuaciones a programas educativos de geociencias de pre y posgrado fortalecidos por el desarrollo de temáticas de interés local donde se insertan las casas de estudio y de temáticas del quehacer profesional en relación a los recursos hídricos requieren mayor desarrollo y soporte a partir de programas de investigación aplicada en los que el aporte estatal, de la industria y otras organizaciones, intergubernamentales, de cuencas o de usuarios de aguas son fundamentales para conseguir un mayor impacto a los objetivos de reducir el Riesgo Hídrico. Iniciativas de capacitación de posgrado respecto a los recursos hídricos y geociencias han sido desarrolladas por programa del Diplomado de Hidrogeología Aplicado a la Minería y Medio Ambiente del Departamento de Geología de la Universidad de Chile, el que ha mostrado una demanda continua y creciente por este conocimiento desde el año 2008 a la fecha. De igual forma la Asociación Internacional de Hidrogeólogos Capítulo Chileno ([www.aih-cl.org](http://www.aih-cl.org)) desarrolla actividades de formación técnica sobre recursos hídricos, alentando el intercambio de conocimiento entre profesionales de la empresa, universidad y sociedad.

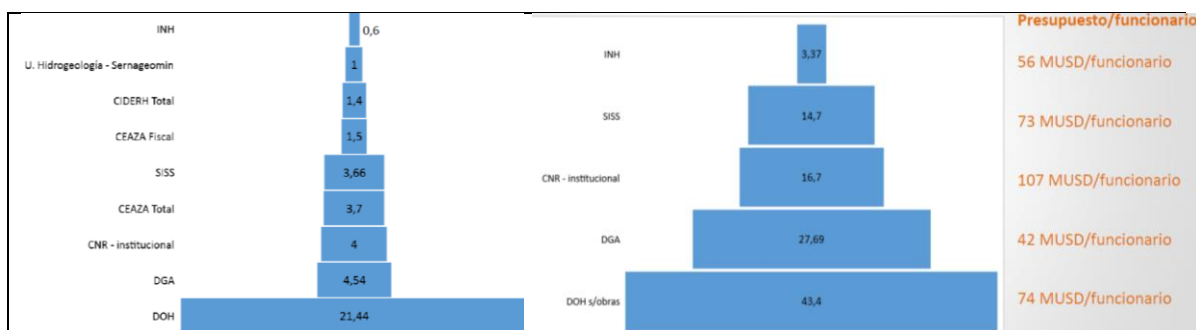


**Figura 1.** Umbrales de monitoreo hidrogeológico en el contexto de las evaluaciones ambientales que actualmente considera la autoridad ambiental en Chile (Fuente, SEA, 2021).

Desde el ámbito privado, en Chile existe el Certificado Azul, acuerdo voluntario público privado, que busca promover la gestión sostenible del recurso hídrico, mediante el uso eficiente y sustentable en la producción de bienes y servicios, con el fin de contribuir a la seguridad hídrica del país ([www.certificadoazul.cl](http://www.certificadoazul.cl)). El acuerdo establece que cada empresa debe aplicar la ISO 14.046, norma internacional para la Evaluación de la Huella de Agua, la cual permite identificar el consumo directo de agua (producción interna), el consumo indirecto (cadena de proveedores) y los posibles efectos de la producción en la salud humana y ecosistemas (indicadores de impacto). Identifica los puntos críticos y las acciones que permitan reducir el uso del agua y el impacto en el territorio y actores. Algunos beneficios de esta certificación incluyen: sostenibilidad del negocio, reducción de costos operativos,

fortalecimiento de la gestión hídrica del país y la seguridad hídrica del territorio, gestión climática y algo no menor gastos deducibles a la renta. Respecto a este último punto, el SII reconoce como gastos deducibles de la renta a aquellos incurridos en el proceso de certificación del APL Certificado Azul.

En el ámbito público, corresponde asegurar líneas de trabajo y su financiamiento con independencia del gobierno de turno. Los casos de México, USA, Holanda y Suiza fueron analizado por Acosta, (2016) en comparación con la situación de Chile. En estos países, mediante un importante subsidio estatal y generación de fondos propios, con un presupuesto total de 39-968 MM USD y con valores entre 96-198 y promedio de 145 MUSD/persona/año se percibe homogeneidad en el cociente presupuesto/dotación de estos organismos, los cuales son dirigidos por un Director Ejecutivo que en todos los casos es un especialista o experto senior que reporta a un Directorio colegiado que define el foco estratégico y los lineamientos generales con presupuestos aprobados por periodos de 3-4 años para no comprometer la continuidad de las investigaciones. Con un total de 41 MMUSD, la situación en Chile es más precaria en términos del cociente presupuesto/funcionario, tal y como se muestra en la Figura 2, donde se observan valores de entre 42-74 MUSD/funcionario.



**Figura 2.** Mirada razonada de los presupuestos para estudios de instituciones nacionales, derecha. Comparación el presupuesto por institución descontando las partidas de inversión en infraestructura, izquierda. Todas las cifras en MMUSD. (Fuente: Acosta, 2016).

La percepción negativa respecto de la normativa y gestión de las aguas en el país se suele explicar por problemas legales o simplemente por burocracia estatal, obviando sus causas producto de las deficiencias técnicas, operativas y financieras de la institucionalidad hídrica nacional. El actual escenario de urgencia hídrica que vive Chile, impone mejorar esta institucionalidad del Estado y de los usuarios organizados. En este contexto la ALSHUD-Chile ([www.alhsudchile.cl](http://www.alhsudchile.cl)), ha hecho un llamado al gobierno y al mundo político respecto de la urgente necesidad de modernizar la gobernanza hídrica del país, reduciendo la fragmentación institucional, otorgándole a las instituciones y organismos recursos financieros mayores, instalando capacidades técnicas permanentes y adecuando la normativa que rige el uso de las aguas en Chile. Particularmente se ha recomendado reducir la subordinación política gubernamental de los altos directivos de las instituciones

técnicas; introducir la planificación hidrológica como un proceso público-privado vinculante que incluya monitoreo de la cantidad y calidad del recurso, actualización de contabilidades hídricas, garantizar que el uso de los recursos hidrogeológicos se realice dentro de planes racionales de explotación, además de adecuar la normativa para que en determinados casos, el uso del agua subterránea considere esquemas de gestión dinámica de la capacidad de regulación interanual que ofrecen muchos acuíferos.

### **\*Glosario de términos**

CNID Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo

DGA Dirección General de Aguas

GIRH Gestión Integrada de Recursos Hídricos

SEA Servicio de Evaluación Ambiental

GWP Asociación Mundial del Agua

OUA Organización de Usuarios del Agua

PAT Planes de Alerta Temprana

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

WWF World Wildlife Fund

### **Referencias**

Acosta, O. 2016. Diseño conceptual de una propuesta institucional de un instituto nacional de tecnología del agua. Elaborado para CORFO.

ALHSUD, 2020. Declaración sobre la gobernabilidad hídrica en Chile. El capítulo Chileno de la Asociación Latinoamericana de hidrología Subterránea para el desarrollo (ALHSUD) advierte la urgente necesidad de renovar el marco de la gestión de aguas en Chile.

CNID, 2016. Ciencia e Innovación para los desafíos del agua en Chile. Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos.

SEA, 2017. Guía sobre el Área de Influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

SEA, 2021. Criterios de evaluación en el SEIA: Contenidos técnicos para la evaluación ambiental del recurso hídrico.

UNESCO, 2019. Geociencias en la educación primaria y secundaria. Volumen 1. Realidades y oportunidades en América Latina y el Caribe. ISBN: 9789233001237.