



ACADEMIA NACIONAL DE
INGENIERÍA
REPÚBLICA ARGENTINA



INSTITUTO DEL
AMBIENTE

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA



DOCUMENTO 8

LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

LA SEGURIDAD HÍDRICA - ENFOQUE TECNOLÓGICO



2024

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

Presidente Honorario

Oscar A. Vardé

Mesa Directiva (2024-2026)

Presidente

Oscar U. Vignart

Vicepresidente 1º

Máximo J. Fioravanti

Vicepresidente 2º

Patricia L. Arnera

Secretario

Tomás A. del Carril

Prosecretaria

Teresa E. Pérez

Tesorero

José Luis Rocés

Protesorero

José Luis Inglese

Revisor de cuentas

Alberto Giovambattista

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

Académicos Titulares¹

Oscar A. Vardé	Ezequiel Pallejá
Luis U. Jáuregui	Osvaldo J. Postiglioni
Raúl A. Lopardo	Javier R. Fazio
Ricardo A. Schwarz	José Luis Rocés
Manuel A. Solanet	Roberto S. Carnicer
Tomás A. del Carril	Raúl S. Escalante
Rodolfo E. Biasca	José Luis Inglese
Eduardo R. Baglietto	Antonio A. Cadenas
Aristides B. Domínguez	Nicolás Gallo
Alberto Giovambattista	Mario Solari
Carlos D. Tramutola (†)	Hipólito A. Choren
Noemí E. Zaritzky	Roberto D. Agosta
Gustavo A. Devoto	Rodolfo D. Aradas
Patricia L. Arnera	Carlos M. Brañas
Raúl D. Bertero	Teresa E. Pérez
Máximo J. Fioravanti	Armando E. De Giusti
Miguel A. Beruto	Luis M. Girardotti
Oscar U. Vignart	Darío R. Gómez

¹ Ordenados por fecha de designación.

LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS LA SEGURIDAD HÍDRICA - ENFOQUE TECNOLÓGICO

INDICE

1	Propósito	6
2	Alcance	7
3	Panorama global de los recursos hídricos.	8
4	Panorama en Argentina de los RRHH. Regiones, climas, pautas culturales.	11
5	La seguridad hídrica – Aspectos conceptuales y prácticos.	14
6	La seguridad hídrica y el cambio climático.	16
7	La seguridad hídrica y la industria del agua.	21
8	Indicadores del nivel de eficiencia en el agua potable.	23
8.1	Niveles de eficiencia y el valor del agua.	28
8.2	El avance de la tecnología en la eficiencia de la industria del agua.	30
9	El tratamiento, reuso y disposición de efluentes domésticos e industriales.	32
9.1	Reúso de efluentes domésticos tratados en el balance de agua disponible.	33
9.2	La economía circular y las biofactorías para la depuración.	35
10	Aportes a la seguridad hídrica en el riego.	37
10.1	El avance de la tecnología en la eficiencia de riego.	39
11	Recomendaciones y comentarios.	43
12	Referencias bibliográficas y sitios web consultados.	45
13	ANEXO – Antecedentes resumidos de los autores.	47

Se agradece la participación de los autores de los apartados que constituyen este documento: Ing Oscar Ricardo Velez, Ing. Luis Urbano Jauregui, Ing. Agr. Hugo Luis D. Allevato, Lic. Juan José Paladino y de todos los integrantes del Instituto del Ambiente, que han aportado comentarios que enriquecieron la versión final de esta trabajo. La coordinación estuvo a cargo del Ing. Osvaldo J. Postiglioni, Director del Instituto del Ambiente.

Propósito

El agua es el recurso natural más crítico del mundo. Es la sustancia más abundante que existe en la Tierra y es el principal constituyente de todos los seres vivos. Es un bien indispensable, para la vida humana y supervivencia del planeta Tierra y sustento de la biodiversidad.

Es innegable que la supervivencia del hombre y el entorno natural dependen fundamentalmente de la cantidad y calidad del suministro de agua. El agua es un requisito esencial para el sostenimiento de las actividades agrícolas, industriales y económicas de una sociedad. Por lo tanto, la gestión adecuada de los recursos hídricos es un medio para asegurar la producción de alimentos, reducir la pobreza y eliminar las enfermedades relacionadas con el agua. Sin embargo en los países en desarrollo, el suministro de agua dulce es una preocupación importante mundial.

En atención a este panorama, el propósito del Instituto del Ambiente, es la elaboración de una serie de documentos que aborden la gestión integral de los recursos hídricos desde la perspectiva de la seguridad hídrica. En cada uno de los documentos a presentar a consideración de la comunidad académica y de las autoridades de aplicación competentes, un conjunto de propuestas surgidas a partir del enfoque de cada uno de ellos.

En primera instancia, en esta oportunidad, el propósito es centrar la atención sobre la industria del agua en el sector abastecimiento y saneamiento a las poblaciones y una incursión en el aprovechamiento del riego, a partir de una introducción conceptual y práctica de la seguridad hídrica.

Alcance

El desequilibrio entre la oferta y la demanda en el sector del agua exige prácticas de gestión del agua más innovadoras, a fin de proporcionar agua de calidad suficiente para las generaciones presentes y futuras. Este es el objetivo final de la gestión sostenible de los recursos hídricos, en consonancia con la definición más amplia de sostenibilidad de las Naciones Unidas.

Para lograr un desarrollo sostenible resulta imprescindible abordar el desafío de la Seguridad Hídrica. Brechas de desigualdad en el acceso, falta de cobertura de agua potable y saneamiento, extremos climáticos, como sequías e inundaciones, planificación y gestión, gobernanza y problemas de calidad, son algunos de los principales retos que enfrenta la región de América Latina y el Caribe (ALyC) y en particular nuestro país.

La escasez de agua es un problema mundial y, a lo largo de los años, se han desarrollado técnicas para rastrear, caracterizar y evaluar el grado de escasez de agua a nivel mundial. La escasez de agua se mide típicamente como el suministro de agua renovable per cápita por año. Esto se basa en los requerimientos de agua para sostener las actividades de los sectores doméstico, agrícola e industrial.

El concepto de Seguridad Hídrica entonces nos obliga a la definición de metas concretas y adaptadas para cada realidad, que permitan garantizar el abastecimiento de agua, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas, los bienes y las personas. También indica la necesidad de contar con capacidades humanas, institucionales, financieras y de infraestructura para alcanzarlas. El desafío no es sólo garantizar que haya agua suficiente, sino también gestionarla de manera eficaz cuando hay demasiada agua en el lugar y el momento equivocados o cuando esta es de mala calidad.

Este documento proporciona una visión general de la situación de la oferta y la demanda de agua y la problemática asociada del cambio climático, el crecimiento demográfico y la urbanización y cita indicadores generados para evaluar la escasez de agua, los principios de la gestión sostenible del agua, la diversidad de factores y maneras de encarar e implementar procesos para lograr las metas de aumento de la eficiencia en el uso del agua.

Panorama global de los recursos hídricos.

Por el lado de la oferta, el problema del agua se considera una consecuencia del cambio climático que ha provocado que el agua escasee en algunas regiones del mundo. Hoy en día las precipitaciones son menos predecibles y las fuentes naturales de agua menos fiables. El cambio climático global ha impactado el ciclo hidrológico y ha afectado los patrones de precipitación, la intensidad, la cantidad, el momento y la forma. El aumento de las temperaturas significará el adelgazamiento de los glaciares, lo que exacerbará aún más la eventual escasez de agua.

Por el lado de la demanda, La población mundial es más de tres veces mayor que a mediados del siglo XX y alcanzó los 8000 millones de habitantes a mediados de noviembre de 2022. Se estima que la población mundial aumentará casi 2000 millones de personas en los próximos 30 años, pasando de los 8000 millones actuales a los 9700 millones en 2050, pudiendo llegar a un pico de cerca de 10.400 millones para mediados de 2080.

Este crecimiento tan drástico se ha producido en gran medida por el aumento del número de personas que sobreviven hasta llegar a la edad reproductiva, el incremento gradual de la vida humana, lo que ha aumentado los procesos de urbanización y los movimientos migratorios. Este crecimiento ha ido acompañado de importantes cambios en la tasa de fertilidad. Estas tendencias tendrán importantes repercusiones para las generaciones venideras.(Ref 1)

El rápido crecimiento de la población y la urbanización, junto con el crecimiento económico, han provocado un aumento de la demanda de agua dulce en todo el mundo y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Casi todas las actividades económicas ejercen presión sobre la "capacidad de carga de contaminación" del medio ambiente y, en particular, del agua. La contaminación industrial, los vertidos domésticos incontrolados procedentes de zonas urbanas, la contaminación procedente de las actividades agrícolas y diversas alteraciones en el uso de la tierra o de la infraestructura hidráulica pueden contribuir al uso no sostenible de los recursos hídricos.

El desequilibrio entre la oferta y la demanda en el sector del agua exige prácticas de gestión del agua más innovadoras, a fin de proporcionar agua de calidad suficiente para las generaciones presentes y futuras. Este es el objetivo final de la gestión sostenible de los

recursos hídricos, en consonancia con la definición más amplia de sostenibilidad de las Naciones Unidas.

Brechas de desigualdad en el acceso, falta de cobertura de agua potable y saneamiento, extremos climáticos, como sequías e inundaciones, planificación y gestión, gobernanza y problemas de calidad, son algunos de los principales retos que enfrenta ALC y el país.

La escasez de agua se mide típicamente como el suministro de agua renovable per cápita por año. Esto se basa en los requerimientos de agua para sostener las actividades de los sectores doméstico, agrícola e industrial, así como en la necesidad de la sostenibilidad ambiental.

Falkenmark (Ref. 2) propuso el índice FLK o de estrés hídrico, que lo define mediante la relación entre la disponibilidad anual de agua dulce con la cantidad de población y propuso como umbral, 1.700 m³ de recursos hídricos renovables per cápita por año, basado en estimaciones de requerimientos de agua en el hogar, en los sectores agrícola, industrial y de energía y en las necesidades del medio ambiente.

Se considera que una región está bajo estrés en el suministro de agua si el umbral cae por debajo de los 1700 m³ per cápita por año. Si el suministro de agua renovable cae por debajo de 1000 m³ per cápita por año, se considera que la región se encuentra bajo escasez crónica de agua y si el suministro de agua renovable de una región cae por debajo de los 500 m³ per cápita al año, la región se encuentra bajo una escasez absoluta.

Valores menores al umbral de 1700 m³/año generan decrementos en la capacidad productiva de la región, situaciones de conflictividad social y profundización de la pobreza.

El índice de *estrés hídrico social* es una modificación del Indicador de Falkenmark que integra la "capacidad de adaptación" de una sociedad para considerar cómo los medios económicos, tecnológicos o de otro tipo afectan el estado general de disponibilidad de agua dulce de una región. Fue desarrollado por Ohlsson (Ref. 3). El índice de estrés hídrico social utiliza el índice de desarrollo humano del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para ponderar el indicador de Falkenmark con el fin de tener en cuenta la capacidad de adaptación al estrés hídrico.

Actualmente 25 países en el mundo sufren un estrés hídrico extremo. En América Latina, Chile es el único en esa categoría, según un análisis del World Resources Institute (WRI). Los otros países más afectados por la escasez de agua en la región son México y Perú, ambos con un nivel alto de estrés hídrico.

Finalmente, el *índice de pobreza hídrica* fue desarrollado por Sullivan et al. (Ref 4) para evaluar si las personas tienen seguridad hídrica a nivel doméstico y comunitario. Intenta reflejar tanto la disponibilidad física de agua, el grado en que los seres humanos son abastecidos por esa agua y el mantenimiento de la integridad ecológica. Este índice incluye cinco dimensiones:

1. Acceso al agua;
2. Cantidad, calidad y variabilidad del agua;
3. Usos del agua para fines domésticos, alimentarios y productivos;
4. Capacidad para la gestión del agua y
5. Aspectos ambientales.

Panorama en Argentina de los RRHH. Regiones, climas, pautas culturales.

Si quisiéramos aplicar los indicadores mencionados a la situación en el país, deberíamos referirlos a cada una de las regiones en las que puede dividirse el territorio continental (al menos 10?) de acuerdo a sus características climáticas, a las estructuras geológicas, edafológicas y topográficas que dan forma a las cuencas hidrográficas superficiales y a la posibilidad de disponer de recursos subterráneos, vinculados o no tanto a los superficiales,

En nuestra República Argentina, se presenta una realidad muy heterogénea, desde su creación como nación; su extensión; las distintas culturas que la componen; la variabilidad de su clima; las diferentes fuentes principales de abastecimiento del recurso; los preceptos jurídicos; los vaivenes políticos y económicos y un sin número de otras variables, nos diferencian de nuestros vecinos regionales y porque no del resto de los países en vías de desarrollo.

Expresar criteriosamente con cierta base técnico-científica las variables expresadas, nos demandará uno o varios documentos similares al presente. Por ello sólo se efectúan algunas reflexiones para ubicarnos sobre nuestras virtudes y defectos, en lo que fué hasta el presente la gestión del recurso hídrico para orientarnos en el enfoque de la seguridad hídrica.

Nuestra Constitución de 1853, nos dió una impronta netamente federalista, que está muy arraigado en la sociedad, profundizado en la Constitución de 1994, cuando se establece el dominio original de los recursos naturales para las provincias. Una primera controversia, es que las cuencas hídricas tanto superficiales como subterráneas, no respetan jurisdicciones políticas. Un claro ejemplo, es la creación de la Cuenca del Matanza Riachuelo (Ley 26168/2006), una de las cuencas históricamente más contaminadas de la región, la cual encontró una herramienta jurídico-institucional de gestión que ha permitido avances impensados previo al instrumento mencionado.

Los aspectos culturales, respecto del recurso agua, tienen una implicancia fundamental, dado que se trasmite generacionalmente, especialmente sobre su uso y preservación, dependiendo de su escasez o abundancia. Un claro ejemplo, son aquellas localidades o jurisdicciones que han interpretado su escasez extrema desde el principio de su existencia, tal el caso de la provincia de Mendoza, y otras localidades sobre la Cordillera de Los Andes

y en el Norte Argentino, donde el agua tiene cierta predisposición ciudadana y política a su cuidado. No ocurre lo mismo en las grandes concentraciones urbanas, no solo de aquellas que se encuentran cercanas a cuerpos superficiales costeros de relevancia (Paraná, Uruguay, Paraguay, Río de La Plata, etc.), sino también en localidades que se abastecen de acuíferos más someros (Ej.: Acuífero Pampeño, etc.), o más profundos (Ej.: Acuíferos Puelche, Guaraní, etc.). Está aparente abundancia, sumado al histórico irrelevante precio pagado por el servicio, en relación con otros servicios como gas y electricidad, y la falta de medición de los volúmenes de consumo, generó la sensación generalizada de abundancia de este recurso.

La contaminación del recurso es otro aspecto importante para considerar, que amerita una serie de breves consideraciones, a saber:

Las aguas superficiales, como las principales receptoras de los excedentes hídricos de su entorno, como de los terrenos que atraviesa, también de los efluentes cloacales e industriales (tratados o no), y de los acuíferos que le aportan sus aguas (curso efluente o ganador), tienen una calidad que depende de estas condiciones y de su dinámica, por lo cual en muy variable en su condición.

Los sistemas cerrados o semicerrados tienden a procesos de eutrofización de por sí naturalmente, acelerados por acción antrópica (exceso de nutrientes) y más aún con efectos de reducción de aportes. Las aguas subterráneas, debido a su concepción y dinámica, tienen una simbiosis con los sedimentos en su lento proceso de infiltración vertical y horizontal, la cual implica la incorporación natural de algunos elementos que comprometen determinados usos. Esta contaminación natural, es muy importante en algunas regiones como la Chaco Pampeana, donde se produce una contaminación por Arsénico y Flúor (existente en las cenizas volcánicas, depositadas en el período Cuaternario), que la inhabilita en muchos casos para uso como bebida humana, sin tratamiento específico. Otra, situación que se encuentra en algunos sectores de la misma región, es la presencia de aguas salobres naturales, que habla de un tiempo prolongado de contacto de agua/sedimento, producto de sedimentos muy finos y pendientes de flujo muy bajas.

Los acuíferos son receptores de variada contaminación de actividades antrópicas, como agroquímicos de la agricultura; nitratos y nitritos de la ganadería intensiva; algunos metales o químicos de la actividad minera o hidrocarbúrfica; variados elementos de la actividad industrial manufacturera y generalizadamente bacteriológica y de otros compuestos provenientes de efluentes cloacales, bien volcados directamente al suelo, sin tratamiento o a cuerpos receptores, incluido el suelo con tratamientos deficientes o incompletos. No deben descartarse los aportes de las aguas superficiales, cuando las mismas son de carácter influente respecto del recurso subterráneo ("curso perdedor"). También deben mencionarse los pasivos ambientales de las actividades extractivas e industriales, especialmente de actividades anteriores a la década de 1990. Los procesos descontrolados de sobreexplotación de éste recurso, ha ocasionado una baja de la

disponibilidad del mismo, en numerosas regiones y acelerado los procesos de contaminación (Ej.: salinización Acuífero Puelche en La Plata, Quilmes, Berazategui y otros).

La seguridad hídrica – Aspectos conceptuales y prácticos.

Para la Global Water Partnership (GWP), red internacional que promueve la gestión sostenible de los recursos hídricos, un mundo con seguridad hídrica “es aquel en el que cada persona tiene agua segura y a un coste accesible para llevar adelante una vida sana y productiva, y en el que las comunidades son protegidas de inundaciones, sequías y enfermedades de origen hídrico”. Además, añaden, “la seguridad hídrica promueve la protección ambiental y la justicia social frente a los conflictos y disputas que puedan surgir a causa de los recursos hídricos compartidos”.

El paradigma de la Seguridad Hídrica (SH) se ha presentado en distintos formatos. Un análisis bibliográfico de muchos artículos y exposiciones de organismos internacionales muestra que el concepto ha sido utilizado con dos alcances distintos

El primero de ellos utiliza el concepto de seguridad hídrica en el marco de una materia o disciplina específica, así, por ejemplo, se aplica a temas agrícolas, de ingeniería, de salud pública o de recursos hídricos.

Un segundo empleo del concepto le asigna un alcance interdisciplinario e integrador, siendo los temas más recurrentes considerados en los diversos artículos la disponibilidad de recursos hídricos, la vulnerabilidad de las personas frente a los riesgos, la necesidad de atender las necesidades de desarrollo humano ,en especial la seguridad alimentaria, y a las cuestiones que atañen a la sustentabilidad social y ambiental del uso del recurso.

De acuerdo a lo señalado, la tarea de alcanzar una mayor SH supone responder no sólo a los riesgos que se observan en la actualidad, sino en forma muy importante en dar respuestas adecuadas a los nuevos desafíos que presenta el sector. **Una sociedad alcanza la seguridad hídrica cuando tiene un sistema de gestión del agua eficiente , la infraestructura correspondiente es operada y mantenida de forma de afrontar con un nivel aceptable los riesgos actuales y disponer de la capacidad de adaptación para atender los riesgos del futuro sin llegar al estrés hídrico.**

La Asamblea General de Naciones Unidas declaró el acceso al agua dulce y al saneamiento como un derecho humano en julio del 2010 y en 2013 definió a la seguridad hídrica como como la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sustentable a cantidades

adecuadas de agua de calidad aceptable para mantener los modos de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para asegurar la protección contra la contaminación del agua y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política. Desde ese entonces, y sobre esa base, se han propuesto diferentes marcos metodológicos para su evaluación y cuantificación.

Como se indicó, la población mundial crece con rapidez, y las estimaciones muestran que, con las prácticas actuales, para 2030 la diferencia entre la demanda prevista y el suministro de agua disponible en el mundo será del 40 %. Asimismo, la escasez crónica de agua, la incertidumbre hidrológica y los fenómenos meteorológicos extremos (inundaciones y sequías) se encuentran entre las principales amenazas a la prosperidad y la estabilidad mundiales. Por otro lado, se reconoce cada vez más ampliamente que la escasez de agua y la sequía intensifican la fragilidad y los conflictos.

La SH afecta a todos los aspectos del desarrollo y bienestar de una población. Necesitamos agua suficiente, de la calidad adecuada, para mantenernos sanos, sostener nuestros medios de vida, hacer crecer nuestras economías y proteger nuestros ecosistemas.

La SH abarca todos los aspectos de la cuestión, desde las catástrofes relacionadas con el agua y las enfermedades transmitidas por el agua hasta los conflictos por recursos compartidos y los problemas de gobernanza, pasando por la biodiversidad y la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

La SH puede considerarse como una evolución o modernización de conceptos previos como el de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Mientras que en la GIRH se hace énfasis en un enfoque “en el proceso”, la SH hace énfasis en el resultado esperado, sin necesariamente especificar el proceso para alcanzarlo, reconociendo la diversidad de problemáticas y las maneras de encarar e implementar procesos para lograr las metas trazadas. Otra diferencia es que la SH se enfoca en la gestión del ciclo del agua (gestión integral de la oferta y la demanda), mientras que la GIRH se enfoca en la gestión de recursos (agua y tierra principalmente), relegando un poco y viendo de manera fragmentada la demanda hídrica.

La seguridad hídrica y el cambio climático.

Un importante estudio publicado en 2010 por el Instituto Internacional del Manejo del Agua (IIMA) señaló que, en las hipótesis más probables, el abastecimiento de agua dulce debería ser suficiente para satisfacer las futuras demandas del sector agrícola, industrial y otros (Ref. 5).

Han ocurrido muchas cosas desde entonces, lo que hace que resulte difícil hoy en día formular una conclusión muy precisa en términos tan optimistas. Ahora es evidente que, sin una mejora significativa de la gestión de recursos hídricos, ya no podemos garantizar el desarrollo sostenible ante el cambio climático y otras presiones conexas.

Las crisis del agua son, sin duda, el asunto mundial más preocupante para los líderes entrevistados recientemente por el Foro Económico Mundial (WEF) (Ref. 6). Además, de las cinco preocupaciones principales citadas, cuatro se centran en el agua o están directamente relacionadas con ella, como por ejemplo, el “fracaso de la mitigación y adaptación al cambio climático”, que ocupa el segundo lugar. En los últimos años, se ha convertido en una verdad obvia, el hecho de que los efectos del cambio climático afectarán a las sociedades, las economías y el ambiente.

El cambio climático pone en riesgo la seguridad hídrica. Los pronósticos actuales del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sobre el aumento de las temperaturas y del nivel del mar unido a sequías y tormentas más intensas apuntan a que se producirán desplazamientos significativos de la población en los próximos 30-50 años, especialmente en las zonas costeras.

Entre el 1 y el 3 de febrero de 2023, representantes de los países de ALyC aprobaron la Agenda Regional de Acción por el Agua, en la sede de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en Santiago de Chile. Allí se aunaron esfuerzos de cara a cumplir el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, (ODS 6), que es garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y saneamiento para todos. Esa Agenda se presentó en la Conferencia de la ONU sobre el Agua 2023, que se llevó a cabo desde el 22 de marzo, en Nueva York.

En el informe de CEPAL se mostró que ALyC cuenta con una dotación de agua por habitante cuatro veces mayor al promedio mundial. Sin embargo, esta se encuentra distribuida de manera heterogénea. El agua suele concentrarse en zonas rurales por ejemplo, en ríos como el Amazonas, de la Plata, Madeira, Orinoco y Paraguay, mientras que las grandes ciudades y zonas de mayor actividad económica reportan altos niveles de estrés hídrico.

Los fenómenos climáticos generan inestabilidad y dificultan, además, los procesos productivos y el acceso estable al agua y al saneamiento gestionados de manera segura.

Según el informe del IPCC de 2021, ALyC es una de las regiones del mundo más afectadas por los desastres relacionados con el clima. El cambio climático provocará no solo una menor disponibilidad del agua en muchos lugares, sino también un abastecimiento cada vez más variable e impredecible.

En Argentina, la seguridad hídrica ha estado en riesgo durante los últimos años por eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones. De hecho, Argentina se encuentra entre los 14 países más afectados por desastres de inundaciones a nivel global. Las estimaciones indican que el país sufrirá diversos fenómenos: un incremento en las precipitaciones extremas al norte del territorio y menor nivel de lluvia en la zona sur. Retos de similar magnitud se pueden encontrar en la demanda del recurso hídrico por actividades agrícolas y calidad del agua.

Se esperan varias décadas con déficit hídrico, lo cual implica, la ocurrencia de bajantes importantes en los cursos de la vertiente atlántica, como ya sucedió en Uruguay y en algunas localidades ribereñas argentinas, generando complicaciones importantes en los sistemas de abastecimiento del recurso. Debido al mismo efecto iniciado en 2020, el déficit hídrico, afecta a los sistemas cerrados o semicerrados (lagunas, humedales, etc.), que han visto reducido sus volúmenes, en algunos casos totalmente, afectando a la biota local, siendo muchos de ellos receptores de los líquidos producto del tratamiento de los efluentes cloacales.

Siguiendo con el mismo razonamiento, debe prestarse suma atención a las consecuencias que, por los mismos motivos expresados anteriormente, se ven afectadas las reservas subterráneas del recurso hídrico, por un manifiesto descenso de los niveles en profundidad, por una marcada disminución de los procesos de infiltración, producto del déficit hídrico. Indudablemente, esto trae aparejado una disminución de la disponibilidad y sin duda en muchos lugares de calidad del recurso.

El aumento de inundaciones y sequías, junto a la pérdida y retroceso de glaciares en los glaciares andinos, resultan en impactos directos e indirectos para la salud de humanos y ecosistemas. Datos satelitales recientes muestran que los cuerpos de agua dulce están desapareciendo rápidamente en muchas zonas agrícolas de regadío debido a esta combinación de cambio climático y mayor demanda.

Si se quieren lograr los objetivos relacionados con el clima y el desarrollo, el agua debe estar en el centro de las estrategias de adaptación. En primer lugar, debemos asegurarnos de que la cantidad y la calidad del agua son suficientes para cumplir las necesidades humanas y las exigencias medioambientales y, en segundo lugar, de que los riesgos relacionados con el agua para las sociedades, las economías y los ecosistemas se mantienen dentro de unos límites razonables.

Para conseguirlo, se necesitan avances inmediatos en tres vías paralelas a la seguridad hídrica, que incluyen el aumento de la inversión en información, infraestructura y en el fortalecimiento institucional.

Para ello, el IIMA y sus socios han desarrollado y aplicado de manera generalizada el enfoque de la *“contabilidad de los recursos hídricos”* (Ref. 7). Esto ayuda a definir un balance hídrico sostenible y, en consecuencia, proporciona una base empírica para la gobernanza equitativa y transparente de los recursos hídricos. Al utilizar un sistema normalizado de recopilación de datos y unas normas de calidad, el enfoque integra los procesos hidrológicos con el uso de la tierra, así como el consumo y el caudal de agua en cuencas fluviales enteras.

Debemos ser capaces también de predecir y prepararnos frente a las circunstancias extremas y los riesgos relativos al agua. Debido a la probabilidad de que aumente la variabilidad en el abastecimiento de agua, los países necesitan buenas herramientas de información para evaluar y controlar estos riesgos.

Por ejemplo los fenómenos atmosféricos que vienen afectando a las temperaturas mundiales, El Niño y La Niña, se producen en el océano Pacífico ecuatorial y en la atmósfera que lo rodea , llevan más de un siglo siendo medidos por organismos de investigación.

"La Niña" es un fenómeno oceánico caracterizado por el enfriamiento de las aguas superficiales de la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial y por cambios en la circulación atmosférica tropical, lo que repercute en los regímenes de temperatura y precipitaciones en diversas partes del globo, incluida América del Sur, explica el Instituto Nacional de Meteorología y Estadística (INMET), un órgano dependiente del Ministerio de Agricultura y Ganadería que representa a Brasil en la Organización Meteorológica Mundial (OMM) desde 1950. (Ref. 8).

Hasta ahora, 2023 ha sido el año más caluroso en la historia de 172 años de mediciones meteorológicas, según el instituto Copernicus (Programa de la Unión Europea) (Ref. 9). Copernicus es el componente de Observación y Seguimiento de la Tierra del Programa Espacial de la Unión Europea, anteriormente conocido como GMES (Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad).

Copernicus proporciona datos e información para comprender mejor la Tierra y gestionar el medio ambiente. La información recopilada, procesada y transmitida por Copernicus

ayuda a mejorar la gestión de los recursos naturales, supervisar la calidad del agua y del aire, planificar las ciudades, facilitar el flujo de transporte, optimizar las actividades agrícolas y apoyar la producción de energía renovable.

La gran mayoría de los datos/información entregados por Copernicus se ponen a disposición y son accesibles para cualquier ciudadano y cualquier organización en todo el mundo de forma libre, completa y abierta. Se puede encontrar información sobre los derechos de autor y las licencias de Copernicus en <https://www.copernicus.eu/en/access-data/copyright-and-licences>.

Además de los datos de los satélites Sentinel, Copernicus ofrece datos de una red global de otros satélites (las misiones contribuyentes de Copernicus) y sensores terrestres, aéreos y marinos para crear imágenes detalladas del ecosistema de la Tierra.

La información sobre las misiones contribuyentes de Copernicus se puede encontrar en <https://www.copernicus.eu/en/contributing-missions>

La estrategia del país identifica cuatro ejes: gestión integrada de recursos hídricos y de cuencas interjurisdiccionales, reducción de riesgos hidro-climáticos en áreas urbanas y rurales, impulso de aprovechamientos multipropósito e incremento del acceso universal a agua segura y a saneamiento básico, priorizando las zonas más vulnerables del país.

Los aumentos de la intensidad de las precipitaciones esta originado por el cambio climático y también por la "isla urbana de calor" de las ciudades. Obviamente ese aumento de las precipitaciones en zonas urbanas y la disminución del área de permeabilidad del suelo por el desarrollo urbano está generando significativas inundaciones.

Estos cambios climáticos van a representar un gran reto para el diseño de obras hidráulicas en donde "los periodos de retorno" juegan un factor importante los registros históricos los cuales cambian. Muchos sistemas de drenaje fueron diseñados hace más de 50 años para intensidades de lluvias completamente diferentes que las actuales.

Los períodos prolongados de calor y sequía aumentan la demanda de agua en las ciudades. El aumento de la temperatura también ha generado mayores tasas de evaporación de la vegetación y los cuerpos de agua, en un momento en que el agua suele ser más escasa. Esta tendencia conduce a un aumento del déficit hídrico en casi toda ALyC.

La gestión de riesgo de desastres, la preparación y gestión de emergencias, así como la gestión integrada de recursos hídricos, son vitales para aumentar la resiliencia y adaptación, así como disminuir el impacto y sostener los ciclos hídricos necesarios para la provisión de agua y saneamiento para toda la población y las actividades económicas.

Es necesario obtener nuevos hietogramas de precipitación a través de los datos históricos de precipitación, las curvas de intensidad frecuencia de duración (IDF) y los modelos climatológicos globales (MCG) reducidos al área de estudio, para tener una aproximación

al cambio climático y poder obtener hipótesis sobre las curvas de intensidad frecuencia por efecto del cambio climático e intensidades máximas.

Como debería ser la gestión en el sistema de drenaje de agua? No se puede cambiar todo el sistema de drenaje. Sería extremadamente costoso. Hay que tratar de gestionar la cantidad de agua que ingresa al sistema de alcantarillado pluvial existente. Una de las formas más aplicables para gestionar la cantidad del agua es la retención de tanques de tormentas o volúmenes de almacenamiento temporal.

La seguridad hídrica y la industria del agua.

La gestión sostenible del agua es uno de los pilares de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, concretamente, el ODS 6, que tiene por objetivo garantizar el acceso a suficiente agua limpia y saneamiento en todos los rincones del planeta. Para ello, se contemplan medidas como asegurar el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible, reducir los vertidos para minimizar la contaminación del agua y preservar su calidad, y aumentar el porcentaje de aguas residuales tratadas.

En América Latina y en particular en la Argentina la pérdida de agua, o agua no contabilizada (ANC) en los sistemas de agua potable, sigue siendo un problema que no es prioridad para los operadores .

El CAF-Banco de Desarrollo de América Latina, realizó un estudio sobre seguridad hídrica en 26 ciudades de la región, en el que se hallaron evidencias de pérdidas en el suministro de agua.

Según la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), se estima un promedio de 42% de pérdidas de agua en las grandes ciudades y en las pequeñas o medianas el promedio, es aún mayor. Este indicador, es una muestra de la gestión conservadora que tiene esta industria que, (salvo excepciones) sigue operando como hace muchos años, solo con una mirada técnica e ingenieril y económica y/o presupuestaría.

Pareciera que los operadores, tanto públicos como privados, han dado prioridad al acceso a este servicio, con el consiguiente aumento de la demanda del recurso agua, en desmedro de la disminución de las pérdidas de agua. Este bajo nivel de eficiencia no siempre está cuantificada para cada uno de los sistemas. En el caso de Chile, estas representan un 36% del consumo humano total de agua del país.

En general en la Argentina se asume, como perdida eficiente para todos los operadores un 30% del agua producida, incluidas las pérdidas operacionales. En los organismos fiscalizadores no existe el concepto de eficiencia en la producción y transporte del agua potable. En general la macro y micro medición, componentes básicos para determinar la eficiencia, no cuentan con coberturas adecuadas y en aquellas ciudades que cuentan con

esta medición, su operación y mantención tiene ciertas deficiencias. en concreto sino se mide no se puede visualizar la eficiencia ni cuidar el recurso.

Pareciera que recuperar un m³ de agua que se pierde o no se registra en la medición, es más caro que producir ese m³. Esta afirmación, no es sostenible en la actualidad dado que con la innovación y la tecnología se tienen herramientas que permiten tener un factor determinante en la escasez y la seguridad, la eficiencia del agua, las operaciones de los servicios públicos, el monitoreo y el tratamiento, y los datos y análisis.

Según estudios de la IWA (International Water Association) y dependiendo de la ubicación geográfica del operador, un 70% de las pérdidas se producen en las conducciones, redes y conexiones domiciliarias. El resto corresponde a consumos reales pero que no son registrados por una inadecuada macro y micro medición.

Otro aspecto destacable es la afectación a la salud, si la calidad del agua para uso doméstico no respeta los criterios de potabilidad. Este aspecto constituye uno de los mayores problemas de salud y medio ambiente del mundo, especialmente para la población más pobre.

La Carga Global de Enfermedad es un importante estudio mundial sobre las causas y los factores de riesgo de muerte y enfermedad publicado en la revista médica The Lancet. Esta cifra es el resultado del sumatorio de los años de vida perdidos por mortalidad prematura (AVP) y los años vividos con discapacidad (AVD).

La falta de acceso a fuentes de agua potable es uno de los principales factores de riesgo de enfermedades infecciosas, como el cólera, la diarrea, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. También exacerba la malnutrición y, en particular, el retraso en el crecimiento infantil. Los indicadores muestran que el agua no segura se ubica a nivel mundial como un factor de riesgo significativo para la mortalidad

En argentina la tasa de mortalidad atribuida al agua insalubre, al saneamiento inseguro o a la falta de higiene (WASH), medida como el número de muertes por cada 100.000 personas de una población dada es 11,45 (Ref. 10)

Indicadores del nivel de eficiencia en el agua potable.

No todo el volumen de agua que entra en el sistema de abastecimiento de agua potable llega a los puntos de consumo, de ahí que todo indica que perdemos parte de ella en el viaje. Por este motivo, esa parte, a la que denominamos agua no contabilizada (ANC), debe ser minimizada, de forma que la reducción del ANC debería ser considerada prioritaria con el objetivo de no perder recursos, reducir riesgos, acortar los periodos de retorno de las inversiones y garantizar la satisfacción del cliente.

Un alto volumen de ANC, generalmente es *sinónimo de una explotación y un mantenimiento del sistema de distribución inadecuado*, que a su vez puede repercutir en la calidad del servicio, y por supuesto en pérdidas económicas para la explotación (IWA. Lambert, 1998).

Durante muchos años, los profesionales de la industria del agua han tratado de decidir cuál es la mejor manera de desarrollar las estrategias de intervención con las pérdidas de agua. El advenimiento del análisis detallado de los componentes de pérdida de agua junto con el cálculo del balance hídrico permite comprender mejor, no solo el volumen de la pérdida de agua, sino también la naturaleza de sus componentes. Las pérdidas físicas no visibles se han estimado de diversas maneras, sin embargo análisis recientes muestran cuán sensible al error es el análisis de este componente, en la estimación del volumen de pérdida de agua no visible.

El uso de la metodología estandarizada de la Asociación Internacional del Agua (IWA), por sus siglas en inglés, proporciona la mejor práctica para determinar los componentes del balance hídrico y el volumen de las pérdidas. El balance hídrico de un sistema es la base de cualquier análisis del agua no contabilizada (ANC) relacionado tanto con las pérdidas reales como con las pérdidas aparentes de un sistema de agua potable.

Determinado el volumen de pérdidas, debe seleccionarse la estrategia adecuada de su reducción y las intervenciones progresivas para lograrlo. El balance hídrico propuesto por la IWA y los apéndices relacionados se muestran en el siguiente Cuadro:

Cuadro 1: Balance hídrico anual IWA (Ref.11)

Agua importada	Agua Exportada	Consumo autorizado	Agua Exportada	Agua Exportada	Agua facturada
	Agua ingresa sistema		Consumo autorizado facturado	Consumo medido facturado	
Consumo autorizado no facturado		Consumo medido no facturado	Consumo no medido no facturado	Agua no facturada	
Pérdidas de agua		Pérdidas aparentes	Consumo no autorizado		Imprecisiones medidores de los clientes
			Errores en el manejo de datos y facturación		Fugas en la red de transmisión y/o distribución
		Perdidas físicas	Fugas y desbordamientos en tanques de almacenamiento		Fugas en las conexiones de servicio hasta el punto de medición del cliente

El balance hídrico se refiere a un sistema de distribución de agua , durante un período de tiempo de manera definida, generalmente un año, con el fin de integrar las variaciones estacionales. Los indicadores de rendimiento de la IWA, determinados utilizando este volumen de pérdidas, son extremadamente valiosos para permitir a una empresa de servicios públicos comparar su rendimiento real en la gestión de pérdidas y su evolución a lo largo del tiempo. El volumen de agua no contabilizada (ANC) se obtiene deduciendo el consumo autorizado facturado del volumen de entrada del sistema o deduciendo el consumo facturado medido y no medido del agua suministrada, en el caso de los sistemas de distribución. El ANC consta de tres componentes principales: Consumo autorizado no facturado, Pérdidas aparentes y Pérdidas reales.

El ANC crea una barrera para la sostenibilidad debido a la pérdida de energía, agua y dinero no recaudado a través de las facturas de agua.

En la gestión del agua urbana el esfuerzo desarrollado en los últimos diez años, mediante tecnologías aplicadas como la sectorización o la monitorización en tiempo real, ha supuesto una mejora muy significativa sobre el control del ANC. Por otra parte, el nivel de desarrollo tecnológico necesario para esta reducción no es ilimitado y debe encontrar un punto de equilibrio en el que se vean reflejados ya no solo los costes estrictamente económicos, sino todos aquellos que la comunidad esté dispuesta a incluir o a soportar con los sistemas de recuperación de costes (sociales, medioambientales, etc.).

La relación entre la reducción de volumen de agua no registrada y el coste económico asociado a esta reducción no es lineal; tiene una progresión asintótica y, por lo tanto, se puede considerar que actúa como un techo o límite económico-técnico. En este punto, el coste de la inversión necesaria para continuar esta minimización deberá ser analizado atendiendo al retorno generado en función del volumen finalmente reducido. La aplicación de indicadores específicos, tales como los indicadores de pérdidas NEF (Nivel económico de fuga), y el NEFS (Nivel económico de fugas sostenible), permiten analizar los diferentes puntos de equilibrio técnico y económico, ambiental y social.

Es indispensable, por lo tanto, que los operadores encargados de la gestión hídrica y las empresas de distribución incorporen aquellas soluciones que optimicen los niveles de eficiencia en la gestión del ANC. De hecho, se dispone de un elevado número de soluciones y tecnologías ya demostradas solventes como son la implantación de sistemas de información geográfica, el telecontrol del sistema, la telelectura, el control en tiempo real de la red, el control de los fraudes y hasta la disposición de equipos de búsqueda de fugas satelitales que permiten llevar a cabo una gestión más eficiente

Los indicadores de rendimiento tradicionales básicos para las pérdidas físicas, que se utilizan más ampliamente, para hacer comparaciones del volumen anual de pérdidas reales, son:

- % del volumen de entrada
- volumen perdido por longitud de la red por unidad de tiempo
- volumen perdido por conexión de servicio por unidad de tiempo
- volumen perdido por longitud del sistema por unidad de tiempo (donde longitud del sistema = longitud de la red + longitud de las conexiones de servicio hasta el punto de medición del cliente)

El Grupo de Trabajo sobre Pérdidas de Agua de la IWA recomendó los indicadores de rendimiento tradicionales básicos con el mayor rango de aplicabilidad para las pérdidas reales sean los siguientes:

- litros/conexión de servicio/día, para densidad de conexiones < 20.

- litros/km/día, para densidad de conexiones > 20.

La tercera edición del Manual de mejores prácticas de indicadores de desempeño, para sistemas de suministro de agua de la IWA, enumera tres indicadores confiables que están disponibles para pérdidas reales:

- Pérdidas reales por conexión (litros/conexión/día cuando el sistema está presurizado), para sistemas de distribución urbana;
- Pérdidas reales por longitud de red (litros/km/día cuando el sistema está presurizado), para sistemas de distribución (rurales) de suministro a granel y de baja densidad de conexión de servicio; y
- Índice de fugas de infraestructura (ILI): la relación entre las pérdidas reales y una estimación de las pérdidas reales mínimas (calculadas utilizando la fórmula de las Pérdidas Reales Anuales Inevitables (UARL) y que pueden estimarse para la presión operativa del sistema, la longitud promedio de la conexión del servicio y densidad de conexión del servicio.

El Cuadro 2 siguiente, según la experiencia de la IWA muestra el Rango del ILI y las recomendaciones en la gestión de pérdidas.

Cuadro 2 : El ILI y la gestión de pérdidas

Rango de ILI	Banda	Descripción general de las categorías de rendimiento de la gestión de pérdidas reales
Menos de 4	A	Mayor reducción de las pérdidas puede ser antieconómica a menos que haya escasez; Necesario un análisis cuidadoso para identificar las mejoras rentables
4 a < 8	B	Potencial de mejoras notables; Considerar la gestión de la presión ; Mejores prácticas activas de control de fugas y un mejor mantenimiento de la red
8 a < 16	C	Pobre historial de fugas; Alto índice de roturas ,tolerable sólo si el agua es abundante y barata; Incluso entonces, analizar el nivel y la naturaleza de las fugas e intensificar los esfuerzos de reducción de fugas
16 ó mas	D	Uso muy ineficiente del agua; Requiere programas intensos de reducción de fugas y de alta prioridad

Es reconocido que es imposible eliminar totalmente las pérdidas físicas de un sistema de distribución de agua. Siempre habrá alguna fuga nueva, por lo tanto, algún nivel de "Pérdidas Físicas Anuales Inevitables" (UARL) seguirán ocurriendo

El siguiente Cuadro N°3 muestra los componentes estimados de UARL según el Grupo de Trabajo de la IWA.

Cuadro N° 3: Estimación de pérdidas reales anuales inevitables UARL(Ref.11)

Componente de infraestructura	Pérdidas no visibles	Pérdidas reportadas	Pérdidas no reportadas	UARL Total	Unidades
Redes	9,6	5,8	2,6	18	Litros/km red/ día/metro de presión
Conexiones de servicio	0,6	0,04	0,16	0,8	Litros/conexión/día/ metro de presión

Los valores que se muestran en el cuadro de arriba proporcionan una base racional pero flexible para predecir los valores de UARL para una amplia gama de sistemas de distribución, teniendo en cuenta la continuidad del suministro, la longitud de la red, el número de conexiones de servicio, la ubicación de los medidores de clientes y la presión promedio de operación.

El ILI se está convirtiendo ampliamente en el indicador preferido en muchos países y está siendo promovida continuamente por los miembros del Grupo de Trabajo sobre Pérdidas de Agua de la IWA.

El ILI es la relación entre las Pérdidas Reales Anuales Actuales (CARL) y las Pérdidas Reales Anuales Inevitables (UARL)

$$ILI = CARL / UARL$$

El cálculo del ILI para un sistema de suministro de agua permite obtener una evaluación inicial de su condición y una descripción inmediata del manejo de pérdidas de agua reales utilizando el siguiente sistema de bandas.

Cuadro N°4: Estimación ANC en un sistema según presión de servicio(Ref. 12)

Categoría performance de ANC	ILI	ANC en Litros/conexión/día con una presión promedio de:				
		10m	20m	30m	40m	50m
A	1 - 2		<50	<75	<100	<125
B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
D	>8		>200	>300	>400	>500

Categoría A: El potencial de reducciones de ANC es bajo

Categoría B: Posibilidades de mejoras .No requiere intervención urgente

Categoría C: Historial deficiente; requiere mejoras

Categoría D: Altamente ineficiente; reducción de ANC es imperativo y de alta prioridad

8.1 Niveles de eficiencia y el valor del agua.

El agua es un recurso natural, y por tanto pertenece a todos, pero para garantizar el suministro, su calidad y el equilibrio medioambiental son necesarias infraestructuras y tecnología, lo que genera un costo por el que hay que pagar, ¿a qué precio? El agua es crucial para determinar si el mundo alcanza o no los ODS. Se requiere un cambio fundamental en la manera cómo se comprende, valora y gestiona el agua.

Valorar el agua significa reconocer los valores que la sociedad le asigna al agua y a sus usos, considerándolos en las decisiones políticas y comerciales, incluidas aquellas sobre la fijación de precios adecuados del agua y los servicios de saneamiento.

El reconocimiento del Derecho Humano al Agua no está regulado expresamente en la Constitución u otras leyes en algunos países de América Latina y el Caribe pero el uso del agua para consumo humano es prioritario en todos los países de la región. Debido a estas características del agua como bien necesario para la vida, **suele estar regulado de forma que su precio es normalmente inferior a su valor económico.**

Según la teoría económica, el valor de un bien viene determinado por la escasez, es decir, la diferencia entre los recursos limitados y las necesidades ilimitadas. Los economistas afirman que el precio de un bien es lo que uno paga por él, mientras que el valor es lo que uno recibe por su uso.

Históricamente, la diferencia entre ambos conceptos ha sido uno de los temas económicos más confusos y que más controversia social y política ha provocado. En el caso del agua, esta dicotomía está polarizada al máximo: el agua es un bien de altísimo valor, ya que nadie podría vivir sin ella; sin embargo, en el mundo industrializado, pagamos un precio mucho menor que otros bienes que no son imprescindibles para la vida.

Resolver la dicotomía entre el valor y el precio del agua es clave para afrontar un futuro de notables riesgos hídricos. La eficiencia en la gestión y la concienciación ciudadana en la importancia del ciclo del agua son herramientas con las que es preciso conseguir un consenso internacional frente a la amenaza de la superpoblación y el cambio climático.

El valor tiene una connotación subjetiva que depende de factores personales, climáticos y sociales. Muchas personas desconocen el valor del medioambiente que les rodea y por ello tampoco del agua que lo mantiene. Y también muchos desconocen la importancia del ciclo del agua, que es el gran motor de la naturaleza del que todos dependemos y el elemento que mantiene el medio ambiente tal como lo conocemos.

La tendencia indica que el agua se está transformando en un bien cada día más escaso, esto debería reflejarse en el precio, pero como además es un bien indispensable para la sociedad, tiene fuertes subsidios del Estado, impidiendo que el consumidor perciba el verdadero valor económico.

El Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de 2021 titulado “El valor del agua” examina el estado actual y los retos de la valoración del agua en distintos sectores

y desde diferentes perspectivas e identifica las formas en las que se puede fomentar dicha valoración como una herramienta que contribuya a alcanzar la sostenibilidad. El ser humano utiliza el agua como si fuera ilimitada.

Los varios regímenes tarifarios en Argentina para los diferentes usos de agua están lejos de integrar el concepto del valor económico del agua. En general, las tarifas son apenas suficientes para cubrir los costos de operación y mantenimiento de los sistemas de agua, dejando pocos recursos para invertir en modernización y expansión de sus servicios.

Asimismo, la infraestructura hídrica se deteriora con el paso del tiempo. Esto se evidencia por el índice de roturas por km de redes y el porcentaje de pérdidas de en sistemas de distribución urbanos

Las tarifas consideran que todas las conexiones implican un costo debido a la instalación de infraestructura permanente, como medidores o tuberías, y a los costos administrativos relacionados.

Siguiendo este fundamento, es habitual que las empresas de servicios de agua y saneamiento que miden el consumo incluyan un cargo fijo a las estructuras tarifarias anteriormente descritas, lo cual se denomina tarifa en dos partes ya que incluye un componente fijo y un componente volumétrico:

$$\text{Tarifa} = f(\text{cargo Fijo} + \text{cargo volumétrico})$$

El cargo fijo de la tarifa contribuye al objetivo de sostenibilidad financiera del servicio, mientras que la parte variable contribuye a los objetivos de eficiencia y sostenibilidad ambiental. El cargo variable envía señales de precio a los consumidores para reflejar la escasez del recurso e incentivar el uso sostenible, a la vez que refleja el costo de un mayor consumo.

En Argentina en general y porque la micromedición no está extendida, se utiliza *Tarifa por cuota fija*, mediante este tipo de tarifa, la empresa prestadora del servicio cobra un importe fijo independientemente de las unidades consumidas.

Respecto al saneamiento o alcantarillado sanitario, se factura como un porcentaje fijo del consumo de agua o mediante una tarifa fija. Esta metodología tarifaria es generalmente deficitaria ya que los sistemas de tratamiento de aguas residuales son costosos y requieren inversiones significativas en infraestructura y mantenimiento.

La tarifa del agua debe diseñarse cuidadosamente para garantizar la asequibilidad para la población de menores ingresos, la expansión al mayor número de personas y la financiación para garantizar la fiabilidad y las mejoras de la red.

Para garantizar la asequibilidad se utilizan subsidios y puede ser definidos como cualquier asistencia o incentivo gubernamental hacia la población de bajos ingresos, respecto de la cual el Gobierno no recibe a cambio compensación equivalente. Los subsidios pueden ser

a la oferta, cuando el Estado le asigna fondos a una empresa para que no aumente las tarifas o a la demanda, cuando la entrega del subsidio es directamente a las personas.

En las áreas rurales, la insuficiencia con respecto a los presupuestos de operación, mantenimiento y reinversión, contribuyen a un mal funcionamiento. La tarifa no cubre los costos operativos consecuentemente hay falta de recursos para el pago de salarios adecuados, combustibles, materiales y repuestos.

Aunque las tarifas del agua para los sectores del agua doméstico e industrial han tenido distintos niveles de éxito, en el caso de la agricultura, los precios del agua son nulos o muy bajos. El precio del agua debe reflejar el coste de la construcción y la operación de las infraestructuras, el coste de prestación del servicio, el coste por tener asegurado su acceso y los costes sociales y ambientales de su utilización.

8.2 El avance de la tecnología en la eficiencia de la industria del agua.

La desigualdad tecnológica, que puede considerarse sinónima de la financiera, es la esencia del problema en las industrias hídricas de los países más pobres. En el caso del suministro urbano, la construcción de estaciones de potabilización y redes de distribución tecnológicamente avanzadas es costosa y en muchas ocasiones choca con otro de los grandes problemas de los países en desarrollo: los barrios marginales que no paran de crecer.

Existen soluciones innovadoras. Los avances en la tecnología de sensores, la computación, la inteligencia artificial y la gestión de big data pueden ayudar a monitorear la cantidad y calidad del agua e informar las decisiones operativas de los responsables políticos y las empresas de gestión del agua. Además, existen innovaciones en sistemas basados en la naturaleza para gestionar el agua que pueden contribuir a la resiliencia del Manejo del agua.

Se disponen de métodos acústicos se basan en la detección de los sonidos producidos cuando el agua se escapa por las fugas. El sonido se propaga de tres maneras posibles: en primer lugar, a través de las propias tuberías y accesorios, en segundo lugar el ruido generado contra el medio de relleno de la zanja y, en tercer lugar, cuando el agua escurre en la zanja donde está instalada arrastrando material del relleno.

Equipos Correlacionadores a través de una notebook que calcula los tiempos de tránsito de los sonidos y se ubica la fuga.

Registadores de ruido se instalan en puntos accesibles de la red (válvulas, etc.) para escuchar y registrar las vibraciones sonoras causadas por fugas que se transmiten a través de tuberías y accesorios.

Registadores flotantes donde los sonidos de fuga son grabados por un hidrófono flotante que es propulsado a través de las tuberías por el flujo del agua. La fuga se localiza mediante el análisis posterior de los datos registrados del momento

Se han desarrollado otros métodos para detectar pérdidas de agua por fugas, como las Cámaras termográficas montadas sobre drones que muestran gráficamente pequeñas diferencias de temperaturas en las superficies de la tierra. Las fugas provocan cambios característicos en la temperatura de las superficies, porque el agua potable tiene una temperatura diferente a la del suelo circundante y debido a la extracción de calor resultante de la evaporación, proporcionan información sobre la ubicación de posibles fugas.

Existen muchos satélites que proporcionan datos geospaciales para el posible uso de detección de fugas por ej. Landsat: NASA/Goddard Space Flight Center Conceptual Imagen Lab; Sentinel 1&2: Rama.

Las Imágenes satelitales tomadas con un radar de apertura sintética (SAR), del inglés Synthetic Aperture Radar, es un tipo especial de radar que permite obtener imágenes de alta resolución a larga distancia y pueden penetrar hasta dos metros de profundidad en el suelo. Esta señal se refleja y las reflexiones son registradas por el satélite. Utilizando el análisis espectral y la ubicación de estos puntos, se compara con la red de tuberías para ubicar posibles puntos de interés (POI). Luego se verifican con equipos de detección convencionales para confirmar su ubicación exacta.

El desafío es ¿Cómo implementar estas tecnologías? Frente a unas previsiones climáticas nada halagüeñas, es preciso asumir el control hidrológico y planificar mejor a largo plazo de los recursos en función de datos reales de la oferta y la demanda, y con las tecnologías disponibles reducir el ANC.

El tratamiento, reuso y disposición de efluentes domésticos e industriales.

El agua es fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas y para satisfacer las necesidades humanas básicas. Sin embargo, la creciente contaminación de los recursos hídricos es una seria amenaza para la salud y el equilibrio biológico en muchos lugares del mundo.

La búsqueda de soluciones para evitar la contaminación del agua ha llevado a la implementación de una amplia gama de tecnologías de tratamiento. Las plantas de depuración de aguas residuales pueden ser capaces de mejorar sustancialmente la calidad del agua consumida en los núcleos urbanos para devolverla al medio natural.

Equipos tecnológicos altamente certificados son utilizados por las plantas de tratamiento para realizar la descontaminación. La importancia de su tratamiento radica en la posibilidad de devolver el líquido a cursos naturales sin que represente un peligro para los seres vivos que tengan contacto con él.

El tratamiento de las aguas residuales tiene un doble valor. Además de los beneficios medioambientales y para la salud, puede ofrecer beneficios económicos al reutilizarse en distintos sectores. Sus productos derivados, como los nutrientes y el biogás, pueden aplicarse a la agricultura y utilizarse para la generación de energía. Asimismo, los ingresos adicionales que se obtengan de este proceso pueden ayudar a cubrir costos operativos y de mantenimiento de los servicios públicos de aguas.

El tratamiento biológico se encuentra a menudo en el núcleo del sistema de tratamiento. Esta solución garantiza la eliminación de las materias contaminantes, en particular una parte de la contaminación, gracias a los microorganismos. Una estación depuradora genera un vertido de agua tratada y de lodos.

Aquí es donde los expertos han empezado a mirar a la naturaleza en busca de soluciones que puedan echar una mano en el cuidado del medio ambiente. ¿Cómo reducir la contaminación que afecta a muchos cuerpos acuáticos del planeta? Pues recurriendo a la propia naturaleza, que ha generado formas de biorremediación a lo largo de la historia evolutiva: son las soluciones basadas en la naturaleza.(SBN) Estas no pueden reemplazar

por sí solas a los sistemas de depuración, pero sí pueden añadir una ayuda extra en la reducción de las presiones que sufre el medio ambiente.

El funcionamiento de los Sistemas Naturales para Tratamiento de Efluentes se basa en lagunas de estabilización con y sin plantas flotantes, humedales artificiales con plantas acuáticas (plantas flotantes y emergentes), canales de lecho de grava con plantas emergentes, organismos filtradores (peces, moluscos, etc.) e incluso la combinación de varios de estos sistemas.

Las plantas emergentes sembradas en canales de tierra con fondo de grava o piedra tienen eficiencias superiores al 90 % en remoción de DBO y DQO, NH₄ y Fósforo, metales pesados, PCB y fenoles entre otros contaminantes.

También como soluciones basadas en la naturaleza y depuración de aguas es donde entran en juego los moluscos filtradores. Estos organismos acuáticos han evolucionado para convertirse en eficientes depuradores de agua.

Los moluscos filtradores actúan como auténticas «plantas de tratamiento» naturales en los ecosistemas acuáticos, extrayendo contaminantes del agua y convirtiéndolos en biomasa o depositándolos en el fondo marino. Además de su capacidad para limpiar el agua, retener materia orgánica o contaminantes y fijar carbono, los moluscos también desempeñan un papel importante en la activación del ciclo de nutrientes y la mejora de la calidad del hábitat acuático.

Emplear moluscos filtradores como herramienta de limpieza del agua ofrece eficiencia y sostenibilidad. Los moluscos se mantienen a sí mismos y no necesitan inversión humana en energía o materiales. Hacen aquello para lo que están diseñados: vivir de limpiar el agua, aprovechando los mecanismos biológicos desarrollados por la naturaleza y generar su propia energía y alimento.

9.1 Reúso de efluentes domésticos tratados en el balance de agua disponible.

En las zonas áridas, caracterizadas por la escasez de recursos hídricos, donde compiten las demandas de agua para uso doméstico, industrial y agrícola, es factible aumentar la dotación destinada al riego mediante el uso de efluentes domésticos tratados en plantas de tratamiento cercanas, a áreas de cultivo o con terrenos disponibles para ello. Esta práctica tiene como ventaja adicional evitar efectuar la disposición final de los efluentes tratados en los cursos de agua superiores evitando su consecuente contaminación, a la vez de darle un destino útil a un recurso invalorado. Este aprovechamiento, enmarcado en el concepto de economía circular, es ideal para países o regiones áridas con escasez de agua para riego ya sea como de uso principal o complementario. Existen numerosas experiencias en el mundo que avalan esta práctica. Su implementación depende de la factibilidad de derivar o trasladar los efluentes a la zona de aplicación. Esta práctica es común en cultivos frutihortícolas donde parte de la producción se realiza en pequeñas parcelas cercanas o

aledañas a las plantas de tratamiento (Ref. 13) Como ejemplo se pueden citar las lagunas de experimentales de San Juan de Dios. Lima, Perú (Ref.14)

Dado que América Latina presenta la mayor concentración poblacional en las zonas urbanas, con una cobertura promedio del 14% en los tratamientos de efluentes domésticos, utiliza estos efluente en su mayor parte sin tratamiento alguno con el consiguiente riesgo de contraer enfermedades entéricas sobre un total estimado de 500.000 ha regadas. Por tal motivo el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá (IDRC) y la OPS/OMS suscribieron un Convenio de Cooperación ejecutado entre los años 2000 y 2002 para desarrollar un programa de cooperación para integrar las experiencias en el manejo de las aguas residuales en la región y recomendar estrategias para la implementación de estos sistemas de reúso. (Ref.13)

Con el fin de otorgar mayor seguridad al manejo y operación de esta práctica lo recomendable es emplear efluentes domésticos con tratamiento terciario para asegurar la ausencia de microorganismos patógenos peligrosos para la salud. Pero un dato a tener en cuenta es que si bien el tratamiento terciario elimina los microorganismos patógenos no elimina la variabilidad del efluente final ya que su composición final va a depender de la naturaleza de los desechos domiciliarios tratados en cada planta lo que hace difícil o imposible de estandarizar

Si bien estos efluentes residuales incrementan la disponibilidad del recurso hídrico localmente escaso, aportan además nutrientes y materia orgánica a suelos que por lo general son someros, de textura franco-arenosa, compactados y con baja capacidad de infiltración.

La reutilización de las aguas depuradas tiene regulaciones diferentes en distintos países del mundo. En algunos países, sus usos pueden llegar a ser para abastecimiento indirecto de agua potable, en cambio, en otros sólo está permitido para usos industriales o agrícolas. En cualquier caso, la regulación de reutilización de agua tiene algo en común a nivel mundial: ésta debe cumplir unos exigentes criterios de calidad. (Ref.13) La reutilización de agua es el proceso que permite volver a utilizar el agua que ha tenido anteriormente un uso municipal o industrial. Para poder ofrecer este segundo uso útil a estas aguas es necesario aplicar un tratamiento adicional al tratamiento convencional de depuración. Las aguas tratadas para su reutilización se denominan aguas regeneradas.

El reúso de efluentes domésticos , desarrollado en Mendoza desde 1992 con el Plan de Saneamiento Integral de OSM SA hoy AySAM, conformó diez plantas de tratamiento con calidad del efluente acorde las normas de la OMS apto para uso en la agricultura. Se verificó alto potencial fertilizante de Nitrógeno, Potasio y Fósforo de > 600 , 200 y 40 kg/ha/año.(Ref.15) El Departamento General de irrigación (DGI) de Mendoza tiene un cuerpo de detalladas regulaciones y propende al reúso de efluentes domésticos y los industriales.

En Mendoza se realizaron diversos ensayos de aplicación de líquidos residuales domésticos tratados en zanjas de oxidación de la planta de tratamiento de Junín de Cuyo, Mendoza sobre cultivos de una finca vecina hortícola con vegetales que crecen bajo tierra (Ajo y Cebolla). En el ensayo a campo participaron investigadores del INA-CRA. Mendoza, el INTA – EERA/La Consulta, INA- CRA-RYD. (Ref.15, 16, 17 y 18)

Los ensayos compararon los rendimientos tratados con efluente tratado puro, con agregado de fertilizantes y como testigo el agua de pozo. La distribución se realizó por ramales entubados en surcos separados para comparar cada tratamiento. El mayor rendimiento obtenido (del 15 al 19%) fue con el efluente de aguas residuales con el agregado complementario de fertilizantes. El más bajo fue con agua de pozo, ya que por su elevado contenido en sodio, dispersó los coloides del suelo afectando sus propiedades físico-químicas.(Ref.15)

La Oficina de Agua de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) publicó el 27 de febrero del 2019 el primer anuncio del Plan de Acción de Reúso de Agua Nacional (WRAP, por sus siglas en inglés) de la EPA. En el evento, la EPA elogió la tasa de recuperación de agua de Israel de aproximadamente el 90% y desafió a los Estados Unidos, con una tasa de sólo 6%, para mejorar sus números.

En todo el mundo, el reúso del agua parece estar “al borde de una década dorada” según Christopher Gasson, editor de Global Water Intelligence quien manifestó que:”Por el lado de los efluentes, se disponen de aceleradamente de tecnologías que ayudan a cambiar el paradigma de economía lineal a economía circular sostenible”.

9.2 La economía circular y las biofactorías para la depuración.

Durante la Semana Mundial del Agua de 2014 organizada por el Instituto Internacional del Agua de Estocolmo (SIWI), se debatió la necesidad de un cambio de paradigma en el consumo de agua: pasar de una economía lineal a una economía circular. Es decir una economía que por definición es reparadora y regenerativa, y pretende conseguir que los productos, componentes y materiales mantengan su máxima utilidad y valor en todo.

El cambio de paradigma en el sector del agua requiere innovación. Es muy importante el debate sobre la innovación en el ciclo urbano del agua, por su relación con la economía circular.

Como ejemplos: En la planta de tratamiento occidental de Melbourne Water, que atiende a 1,6 millones de personas en los suburbios centrales, septentrionales y occidentales de Melbourne, las aguas residuales se consideran más que un producto de desecho, ya que la empresa genera electricidad mediante la combustión de biogás que se captura bajo cubiertas que se colocan sobre las lagunas de tratamiento de aguas residuales. La Planta de Tratamiento de Occidente utiliza biogás para satisfacer casi todas sus necesidades de electricidad con 71.500 megavatios hora de energía renovable generada cada año, lo que

evita la emisión de 87.000 toneladas de dióxido de carbono a través de la quema de combustibles fósiles. A veces, la planta de tratamiento genera un exceso de energía renovable que se exporta a la red eléctrica para compensar el uso en otros sitios de la empresa de servicios públicos.

En Chile, las plantas de tratamiento de La Farfana y Mapocho-Trebal, actualmente constituyen Biofactorías. Entendiéndose como tal, porque son un centro productor de recursos valiosos que no genera residuos, ni impacto al medio ambiente y no consume energía de origen fósil, porque produce su propia energía para funcionar, transformando los residuos en recursos. Las Biofactorías de La Farfana y Mapocho-El Trebal obtuvieron el reconocimiento por alcanzar un 73% y 81%, respectivamente, de residuos valorizados validados.

La Farfana es una planta de tratamiento de aguas residuales que permite el reciclaje de las aguas utilizadas por alrededor de un 50% (3,7 millones de personas) de la población del Gran Santiago.

Esto ha posibilitado la utilización de Swaps, o transferencias intersectoriales de agua. A diferencia de la venta, aquí se lleva a cabo un intercambio comercial de fuentes de abastecimiento de agua, lo cual se traduce en un ahorro o beneficio económico directo. Por ejemplo, es posible pactar acuerdos entre los productores de agua tratada para el riego y el operador del servicio de agua potable para usos domésticos e industriales. Con tal esquema, pese a que estos swaps no aumentan la disponibilidad total del recurso, permiten un ahorro en comparación con el costo de acudir a otras fuentes hídricas como el tratamiento y filtrado de aguas superficiales escasas, así como el profundizar pozos, con todo el gasto energético que entraña el uso de fuentes subterráneas.

Aportes a la seguridad hídrica en el riego.

El cambio de paradigma de economía lineal a economía circular o economía verde referida al riego implica maximizar los recursos disponibles minimizando la generación de externalidades negativas como las pérdidas por evaporación, escorrentías y lixiviación. Esto, además de significar un uso racional de los recursos hídricos, permitiría ampliar la cobertura de las zonas irrigadas para atender a la mayor demanda por productividad en las zonas bajo riego, protegiendo el medio ambiente de la erosión y de la salinización de las napas. Pero lograr este propósito significa enfrentar el principal problema a superar que es la falta de responsabilidad social individual y colectiva para vencer la resistencia al cambio tanto por su aversión al riesgo como por la dilatación en incorporar los nuevos desarrollos tecnológicos.

En Argentina se utiliza como fuente de agua para riego el agua superficial y, desde la década del 60, con la aparición de las bombas de profundidad, el riego con agua subterránea. El uso de esta fuente dio lugar al desarrollo de nuevos métodos de captación y distribución mediante canales, primero de hormigón y luego de tuberías de plástico tipo californiano de PVC, de alta duración y reciclables, con el fin de evitar las pérdidas por infiltración, posibilitando la aparición de los métodos de aspersión y riego por goteo localizado. Utilizando estos recursos surgieron los sistemas de riegos por melgas, surcos y distribución por turnado, ajustando la necesidad de agua al requerimiento de los cultivos.

A nivel nacional el uso agrícola del agua para riego implica el 70% del uso del agua subterránea en las áreas bajo riego alcanzando el 90% en áreas desérticas.

Con una precipitación promedio de 600mm en todo el territorio continental nacional, la disponibilidad hídrica resulta de 1.690.000 hm³ a los que deben sumarse otros 560.000 hm³ por aporte de los ríos interiores y los costeros. Las áreas del país donde los recursos hídricos son utilizados mayormente con fines de riego son: El NOA, la Región Centro, Cuyo, el COMAHUE y la Patagonia. La superficie efectivamente irrigada es de aproximadamente 1.360.000 ha representado el 4% de la superficie total con aptitud agrícola, donde el 70% se riega por escurrimiento superficial, el 21% por aspersión y el 9% por riego localizado (DGI, INDEC, Censo Nacional 2002). Es

importante señalar que el riego complementario ha crecido en la región húmeda mucho más intensamente que en las zonas áridas, debido a la demanda poblacional y al precio internacional de los granos que motivó el incremento de su superficie cultivada y a la extensión del riego presurizado al cultivo de hortalizas.

Según datos del último censo agropecuario realizado por el INDEC (2003) la superficie total con producción agropecuaria del país fue de 33.182.640 ha sobre un total de superficie cultivable de 38.000.000 ha. Esto representa el 15% de la superficie continental total del país (Banco Mundial), de la cual según el Censo Nacional 2002 solo se riega el 0,5%.

El país tiene un buen régimen pluviométrico sobre todo en la pampa húmeda, aunque alterado por los ciclos de La Niña y El Niño. Además las zonas de secano están asentada sobre dos acuíferos importantes: El pampeano y el Guaraní. Esto permite contar con una importante reserva de agua pero resulta preocupante que en el último Congreso Maizar 2024, se haya mencionado la posibilidad de perforar a 60 u 80 metros o mucho más, para extraer agua para uso agrícola. Esta propuesta deberá ser motivo de una fuerte discusión, ya que podría colisionar en algunas localizaciones, con el abastecimiento de agua para consumo humano, teniendo en cuenta que para el riego bastaría contar con agua de estratos superiores, los que en general son afectados por la percolación de sustancias provenientes de las actividades humanas en la superficie.

En general se estima que la eficiencia promedio del riego en el país se encuentra en valores cercanos al 40 % siendo el objetivo para lograr en el corto plazo duplicar la misma (SAGyP, Plan Nacional de Riego) para alcanzar en el año 2030 4.000.000 de has bajo riego.

Pero es importante señalar que en Mendoza, la principal zona de riego en zonas áridas, la eficiencia es del 60% mediante el uso de aguas superficiales en un 60% y con agua subterránea en un 40%. Siendo que el riego eficiente implica aplicar la cantidad requerida por el cultivo en forma adecuada y en el momento oportuno, se busca optimizar el riego asegurando una distribución uniforme, minimizando las pérdidas por evaporación, por infiltración y por escorrentías. Lograr eso se requiere del uso de sistemas de riego automatizados, con herramientas de monitoreo para la toma de decisiones sobre la cantidad y frecuencia de cada aplicación, siendo ideal la utilización de herramientas de control digitales y técnicas de inteligencia artificial, como las plataformas digitales con acceso a información geo-referenciada para la obtención de datos de evapotranspiración, variables climáticas, control de horas de riego, sectorizaciones, sondas para el control de humedad del suelo, calicatas y modelos de pronóstico climático (Ejemplo: Plataforma AGRI)

Las pérdidas de agua se producen por evaporación en los canales abiertos, infiltración por la falta de impermeabilización de los canales y a través de escorrentías por roturas o falta de mantenimiento en los canales y acequias por no controlar o eliminar el crecimiento de la vegetación espontánea. A esta ineficiencia se le suma la frecuente derivación de caudales indebidos y no utilizados por los regantes hacia áreas aledañas. Es decir que del total de agua captada solo una parte es aprovechada por el cultivo disminuyendo la eficiencia en

valores muy elevados. Los estudios del INA demostraron que las áreas bajo riego de Argentina tienen en común una baja eficiencia (33% en 1970) cuando la infraestructura existente permitiría llegar al 45% o al 50%. El exceso de agua por infiltración-lixiviación altera las condiciones de aireación y provoca el ascenso de sales afectando los procesos biológicos del perfil. En Mendoza, la DGI constató que en el año 1986 el 46% de las áreas irrigadas estaban afectadas por problemas de drenaje. Sin embargo cabe destacar que existen casos puntuales en esa provincia, como el sistema de riego desde el río Tunuyán, con una eficiencia del orden del 40%.

Se prevé que en el futuro la demanda en las zonas áridas y semiáridas seguirá creciendo al ritmo del crecimiento poblacional y de las áreas cultivadas. Del total de agua demanda por el sector agrícola un 98% es con fines de regadío y un 2% para agua de bebida animal.

Como una buena operación de riego va más allá de la correcta distribución y aplicación del agua para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo, mejora además la eficiencia en la absorción de nutrientes permitiendo realizar, si se incluyese, las prácticas de fertirrigación y aplicación de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, evitando la erosión por escorrentía y el despilfarro del escaso recurso hídrico

10.1 El avance de la tecnología en la eficiencia de riego.

En el marco de la economía circular y con la necesidad de mejorar la eficiencia del riego en la zona de secano se están generalizando las técnicas de agricultura de precisión para optimizar el uso de insumos agrícolas, particularmente por los productores de agricultura extensiva. En la región bajo riego de la zona cordillerana se presenta otro modelo agrícola con superficies de menores extensiones y cultivos intensivos que requieren de la implementación de riego presurizado.

Es oportuno aclarar que la eficiencia en el uso del agua para riego se analiza en este caso como la diferencia entre el volumen total de agua captada en la toma y la que llega a la zona de aplicación en el cultivo, debido a las pérdidas por evaporación, infiltración, derrames, deficiente operación de distribución, etc.

Con otro criterio, más agronómico, la eficiencia de aplicación es la cantidad de agua útil disponible para el cultivo que queda en la zona radicular después del riego. Se mide en porcentaje o en litros de agua útil cada 100 litro de agua aplicada. Es decir la relación entre el volumen de agua retenida en el perfil del suelo (Agua útil o aprovechable) y el volumen suministrado durante la aplicación (Volumen total aplicado). El volumen aplicado durante el riego se realiza en función del requerimiento del cultivo de acuerdo con los requerimientos totales o parciales según las etapas fenológicas del mismo. El agua útil en el suelo se mide con instrumental (higrómetros) mediante muestreos en distintos horizontes del suelo o por extracción de muestras a distinta profundidad y posterior secado en hornos.

La agricultura moderna requiere para un manejo eficiente el desarrollo de un sistema de medición y monitoreo de distintas variables para conocer en tiempo real, la evolución de los cultivos, el funcionamiento de los equipos y las condiciones climáticas del lugar para realizar un riego eficiente. Integrando todas esas variables se construye un modelo que funcione como un sistema de telemetría agrícola integrada con equipamiento electrónico, medios de comunicación, sensores, controles automáticos coordinados mediante un software específico y visualizado en una plataforma centralizada para su operación y control.

La implementación de estos sistemas requiere contar con una red de enlaces satelitales aunque se puede sustituir por otros medios físicos como la red de teléfonos celulares, fibra óptica, etc., hasta que se generalice la conexión satelital. Esta es tal vez la mayor limitación que tiene nuestro país en materia de cobertura inalámbrica para generalizar estos nuevos adelantos técnicos. Con estos sistemas telemétricos se transmiten datos e instrucciones de ida y vuelta para el control de los dispositivos finales desde un Centro de Control o Estación Base.

La agricultura moderna, actualmente denominada Agricultura Regenerativa bajo los principios de la economía verde o circular se orienta a lograr la máxima eficiencia en todos sus aspectos. Este proceso de modernización mediante el uso de la tecnología digital, inteligencia artificial, drones, maquinaria agrícola liviana con componentes de fibra de carbono, busca optimizar el rendimiento de una explotación agrícola mediante una agricultura de precisión

En la zona bajo riego los productores se ven forzados a dejar los sistemas de riego tradicionales (Inundación y surco) incorporando sistemas de riego presurizado como : goteo, aspersión, micro-aspersión y riego subterráneo . Actualmente si bien han incorporado el riego presurizado los mismos son en su mayoría operados y controlados manualmente. Igualmente, las inspecciones del equipo de riego también son manual y discontinua en el tiempo por lo que una falla demora varios días en detectarse y resolverse.

El INTA Manfredi presentará en una próxima Reunión Internacional de Riego, los resultados de ensayos a campo con riego por goteo enterrado en trigo, maíz y soja señalando que la mayor eficiencia se debió a la reducción de pérdidas por evaporación y deriva y incrementándose notablemente los rendimientos. Este tipo de riego tiene como ventaja con respecto al riego por Pivote Central que requiere menos caudal de agua. Además se adapta a cualquier forma y topografía de lotes, se puede implementar por etapas y utilizar como fuente de energía la fotovoltaica y reutilizar aguas residuales por los mismos canales de riego. Como inconvenientes se señalan su costo en materiales y laboreo, la dificultad en detectar problemas de roturas, taponamiento y fallas en la uniformidad del caudal de riego lo que a obliga a contar con un estricto protocolo de mantenimiento con personal calificado para tal fin. Es oportuno destacar que la provincia de Córdoba fijó como objetivo triplicar el área de riego de las 200.000 ha actuales a 300.000 ha para lo cual deberán extremarse las medidas y acciones tendiente a optimizar la eficiencia del riego

Sin duda que el sistema que cumple con todas las condiciones para lograr la máxima eficiencia es el modelo telemétrico presentado en el Congreso Argentino de Agroinformática por F. Caprano, S. Tosetti, V. Mut del Instituto de Automática de la UNSJ-CONICET, integra diferentes dispositivos electrónicos, de comunicación, robótica e informática para lograr la monitorización y supervisión de las variables de interés tanto del campo como de los equipos de riego

El sistema se compone de estaciones estáticas para mediciones en campo dentro de la zona de cultivo con sensores de humedad de suelo, a distinta profundidad, temperatura y conductividad. En los márgenes laterales se mide presión y temperatura ambiente. Para su funcionamiento se utilizan microcontroladores de bajo consumo alimentados por energía solar. Se recomienda además instalar una estación meteorológica dentro del predio conectada al sistema. Finalmente se complementa con una estación de control y monitoreo en los sectores bajo riego con el fin de conocer el caudal de agua aplicada y su presión para conocer el estado de funcionamiento de los equipos presurizados. Esta estación se coloca en el cabezal del riego o en la sala de control del sistema de riego.

Las estaciones móviles se utilizan para complementar la información obtenida de las estaciones fijas. Son plataformas móviles aéreas y/o terrestres que permiten ampliar la zona de medición. En general se usan dos tipos de plataformas: Cuatriciclo robotizado y Cuatrirrotor autónomo o un Drone. El primero es un cuatriciclo comercial automatizado en las acciones de dirección, aceleración y frenado para recorrer la zona cultivada de manera autónoma. El control se basa en un sistema de GPS con visión estéreo- Sobre el cuatriciclo se montan dos sistemas de escaneo laser (LIDAR) una cámara termográfica y otra multiespectral lo que permite obtener información de los cultivos y de las zonas aledañas para conocer la estructura foliar, estado vegetativo, estrés hídrico, enfermedades y eventuales daños climáticos. El Cuatrirrotor autónomo es una plataforma aérea (DRONE) de la firma 3DR Robotics equipado con un autopiloto configurado con una misión de vuelo para una superficie y altitud delimitada. Lleva montado cámaras termográficas y multiespectrales para obtener imágenes aéreas.

El sistema de monitorización y control del riego está conformado por una serie de programas y algoritmos informáticos para monitorear, evaluar y establecer las operaciones de riego por parcela. El sistema tiene la capacidad de informar la demanda hídrica calculada en base a la ETO (Evapotranspiración) y humedad del suelo para realizar un riego de precisión. El programa también permite el ordenamiento de los turnos de riego y la aplicación de fertilizantes y productos para el control de plagas y enfermedades.

Para la gestión de datos existe un subsistema encargado de coordinar cada nodo de la red mediante : 1. Módulos de comunicación inalámbrica ubicados en cada estación, 2. Módulo coordinador y transmisión de datos, 3. Servidor de eventos para analizar el funcionamiento de las estaciones y 4. El servidor de datos para mantener de manera ordenada y accesible toda la información del sistema.

Finalmente el sistema de interfase al usuario permite a los productores acceder a toda la información del sistema. Si la red inalámbrica externa lo permite se puede acceder para su consulta desde el exterior del predio.

Recomendaciones y comentarios.

Nos hemos referido en este primer enfoque, esencialmente a los aspectos tecnológicos involucrados en el análisis de la seguridad hídrica y en particular en cuanto se refiere a los procesos de abastecimiento de agua para fines domésticos e industriales y a los tratamientos de los efluentes de esas actividades, dentro de un entorno crítico, acentuado por el cambio climático.

Este enfoque es muy parcial, pero la intención del Instituto del Ambiente es complementarlo, con otros aportes vinculados las cuestiones sociales, económicas y a las implicancias del marco jurídico e institucional, actual, que no contribuye por cierto a una gestión integral del recurso hídrico, coordinada por los tres niveles de gobierno (nacional, provincial y local) y el sector privado.

Sin entrar en detalles en estas cuestiones, parece conveniente incorporar algunos comentarios que orienten o anticipen la adopción de decisiones con vistas a corregir algunas situaciones que deberían corregirse.

Con la creciente demanda de agua, energía y alimentos, la gestión del nexo entre estos sectores es esencial para desarrollar una economía verde. El enfoque del nexo hace hincapié en el uso más eficiente de los recursos y busca la coherencia de las políticas en estos sectores para apoyar el crecimiento verde. Sin embargo, tradicionalmente, la gobernanza ha permanecido separada, con una atención limitada a sus interacciones.

El agua reciclada desempeña un papel fundamental para garantizar la seguridad alimentaria de la comunidad. Las tecnologías avanzadas y las prácticas innovadoras son vitales para mejorar la resiliencia del nexo agua-energía-alimentos. Podemos crear sistemas robustos y adaptables que mitiguen los riesgos y mejoren la sostenibilidad mediante la integración de soluciones tecnológicas y basadas en la naturaleza.

La falta de políticas públicas referidas a los recursos hídricos en general, y los vaivenes económicos en particular de las últimas décadas, ha puesto al sistema de abastecimiento de los diferentes proveedores del servicio, salvo pocas excepciones, en una crisis inconcebible, que necesita iniciar un proceso de recomposición, para un país que tiene aspiraciones de retomar un camino de crecimiento sostenible, de mirada a un futuro donde la calidad de vida de sus ciudadanos, no este puesta en duda.

La crisis mencionada, también alcanzó a las instituciones que tienen la responsabilidad de control de los recursos hídricos y de los prestadores de servicios, en los distintos niveles jurisdiccionales. La burocratización de estos; la falta de recursos económicos y humanos disponibles; la pérdida de la capacitación permanente; la escasa capacidad y voluntad de control, han contribuido a un Estado ineficiente y por lo tanto incapaz de establecer un estado de situación y menos aún de modificarlo.

Para concluir con el propósito de este documento es necesario resaltar que las empresas de agua y saneamiento del país deben disponer de los recursos humanos y tecnológicos que les permitan afrontar los riesgos hídricos y brindar sus servicios con la calidad acorde con su responsabilidad por la protección de la salud humana y ambiental. En este sentido se destaca la labor desempeñada por el Concejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios (COFES), que desde 1982, agrupa a los operadores del sector oficiales y privados, impulsando la adopción de las mejores prácticas operacionales y de comunicación de pautas de gestión que incluyen la extensión a la comunidad de usuarios, de hábitos compatibles con la sostenibilidad.

Referencias bibliográficas y sitios web consultados.

- (1) <https://www.un.org/es/global-issues/population>
- (2) Falkenmark, M., Lundquist, J., Widstrand, C., 1989. *Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development*. Natural Resources Forum.
- (3) Ohlsson, L., 2000. *Water Conflicts and Social Resource Scarcity*. Journal of Physics and Chemistry of the Earth.
- (4) Sullivan, C.A., Meigh, J.R., Giacomello, A.M., Fediw, T., Lawrence, P., Samad, M., Mlote, S., Hutton, C., Allan, J.A., Schulze, R.E., Dlamini, D.J.M., Cosgrove, W.J., Delli Priscoli, J., Gleick, P., Smout, I., Cobbing, J., Calow, R., Hunt, C., Hussain, A., Acreman, M.C., King, J., Malomo, S., Tate, E.L., O'Regan, D., Milner, S., Steyl, I., 2003. *The water poverty index: Development and application at the community scale*. Natural Resources Forum.
- (5) David Molden, ed., *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Summary (Londres, Reino Unido, Earthscan y Colombo, Sri Lanka, Instituto Internacional del Manejo del Agua, 2007).
- (6) Foro Económico Mundial, *The Global Risks Report 2016*, 11ª ed. (Ginebra, Suiza, 2016).
- (7) Instituto Internacional del Manejo del Agua et al., *Water Accounting*. Independent estimates of water flows, fluxes, stocks, consumption, and services. Disponible en: <http://wateraccounting.org/>
- (8) <https://www.nationalgeographicla.com>
- (9) <https://www.copernicus.eu/en/network/get-touch>
- (10) <https://ourworldindata.org/grapher/mortality-rate-attributable-to-wash?tab=chart&country=~ARG>
- (11) A. Lambert, T. Brown, M. Takizawa y D. Weimer, «A review of performance indicators for real losses from water supply systems», *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, vol. 48, Nº 6, pp. 227-237, 1999

- (12) Lambert, A.O., and Marco Fantozzi. "Recent developments in Pressure Management". Presentado en la IWA Specialized Conference 'Water Loss 2010', Sao Paolo, Brasil, June 2010
- (13) Sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina. Realidades y Potencial. PAHO/IRIS 2002 OPS/CEPIS/PUB/02.85. Cavallini J., Joven L.
- (14) Uso agropecuario de las aguas tratadas en la laguna de estabilización de San Juan, Lima, Perú. OPS/CEPIS/1999. Moscoso F. Cavallini J. 199 Seminario de efluentes líquidos cloacales tratados 18/09/1999
- (15) Riego con efluentes domésticos tratados en Mendoza. Argentina. Velez O., Fasciolo G., Bertranou A. INA-CELA 2000/01/2001
- (16) Utilización de efluentes urbanos tratados mediante riego subterráneo. Agricientia Vol. 36 N 1y 2 UNRC Crespi R., Ramos D., Pautasso G., Bouzo C.
- (17) Desarrollo de malezas en cultivos regados con efluentes domésticos tratados. Mendoza. Argentina. Tozzi F., Fasciolo G., Gabriel E. 29/07/2004
- (18) Impactos agroeconómicos del riego con efluentes domésticos tratados en cultivo de ajo y cebolla. INA-CRA-RYD Fasciolo G., Gabriel E., Morabito J., Tozzi F., en INTA-GEA. Mendoza Trabajos realizados desde 1998 a 2002
- (19) Agricultura regenerativa. Clarín Rural. Editoriales de Julio y Agosto 2024. Ing. L. Huergo
- (20) Congreso Argentino de Agro-informática. Modelo telemétrico aplicado al riego. F. Caprano, S. Tosetti, V. Mut Instituto de Automática UNSJ-CONICET. Set. 2019
- (21) www.argentina.gob.ar : INTA y Fundación Banco Credicop Agricultura Regenerativa/ 26.08.2024
- (22) www.argentina.gob.ar : La agricultura regenerativa se extiende en la región de Cuyo / 22.12.2022
- (23) Agricultura regenerativa. <https://sobrelatierra.agro.uba.ar/>. Boletines para suscriptores
- (24) El INTA presenta en Expoagro 2024: Tecnologías para la transformación de la agricultura. El avance tecnológico que el campo está incorporando. Ej: Empresa Irri-Ar, Empresa Argenpapa, Empresa Valley Argentina, Presentación del Programa MIDO para confeccionar el Balance Hídrico, Pronósticos, Medición de Caudales, Indicadores de Agua Consumida, Agua Virtual y Huella Hídrica, implementación del Sistema Telemetría Agrícola.

ANEXO – Antecedentes resumidos de los autores.

Hugo Luis D. Allevato

Ingeniero agrónomo (UBA, 1993) con especialización en gestión ambiental (UCA, 1995). Además, es técnico cartógrafo (Escuela de Cartógrafos de la Armada Argentina, 1970). Se ha desempeñado en instituciones como el Instituto Nacional del Agua (INA), el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH) y el Servicio de Hidrografía Naval, entre otras, ocupando roles vinculados a gestión de calidad, documentación y capacitación en recursos hídricos y ambientales. Miembro del Instituto del Ambiente de la Academia Nacional de Ingeniería.

Luis Urbano Jauregui

Ingeniero civil, destacado referente en agua, saneamiento y medio ambiente en Argentina y América Latina. Fue secretario de Recursos Hídricos de la Nación y Administrador General de Obras Sanitarias de la Nación. También actuó como consultor para la Organización Panamericana de la Salud y presidió la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre el Agua. Actualmente, dirige la carrera de grado "Especialización en Empresas de Agua y Saneamiento" y es miembro de las Academias Nacional de Ingeniería y de Ciencias del Ambiente. Académico de número desde 1991, integrante del Instituto del Ambiente de la Academia Nacional de Ingeniería.

Lic. Juan José Paladino

Licenciado en Geología, especializado en hidrogeología y medio ambiente. Graduado en la Universidad Nacional de La Plata (1975), ocupó cargos destacados en el sector público, como director en Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires y en organismos de control ambiental. En el ámbito privado, lideró consultorías técnicas en saneamiento, auditorías y gestión ambiental. Ha sido profesor titular en la Maestría de Ingeniería Ambiental de la UTN y participó como jurado y co-director de tesis. Ha intervenido en más de 120 eventos sobre recursos hídricos y medio ambiente, y cuenta con diversas publicaciones especializadas. Es miembro del Instituto del Ambiente de la Academia

Nacional de Ingeniería y asesor de la Confederación Económica de la Provincia de Buenos Aires.

Oswaldo J. Postiglioni (Coordinador)

Ingeniero civil (Universidad de Buenos Aires, 1965) con posgrado en Ingeniería Sanitaria (UBA, 1967) y especialización en Francia como becario del gobierno francés (1970). Fue coordinador general de Saneamiento Ambiental en el Ministerio de Salud de la Nación (1968-1973) y director del Centro de Tecnología del Uso del Agua del INCyTH (1979-1988). En el ENRE, trabajó en el área ambiental desde 1993, dirigiéndola entre 2006 y 2014. Ha evaluado proyectos en las represas Salto Grande y Yacyretá (1975-1978). Es académico de número de la Academia Nacional de Ingeniería desde 2015, director del Instituto del Ambiente desde 2017.

Oscar Ricardo Velez

Ingeniero electromecánico (Universidad Nacional de Cuyo, 1970) y magíster en ingeniería sanitaria (University of California, Berkeley, 1978). Ha liderado proyectos de agua potable, saneamiento y medio ambiente en los sectores público y privado. Fue presidente de Obras Sanitarias Mendoza, donde impulsó su privatización y desarrolló programas financiados por el BID. También se desempeñó como gerente general de Obras Sanitarias de Tucumán y asesor técnico en Obras Sanitarias de la Nación. En el ámbito privado, ha trabajado en auditorías técnicas y proyectos de tratamiento de efluentes y reúso. Ha sido profesor de posgrado en recursos hídricos, expositor en eventos internacionales y autor de más de 20 publicaciones especializadas. Es miembro correspondiente de la Academia Nacional de Ingeniería desde 2014.



INSTITUTO DEL
AMBIENTE

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

Av. Pte. Manuel Quintana 585, 3° Piso – C1129ABB

Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina.

acading@gmail.com; acading.arg@gmail.com

Sitio Web: <https://acading.org.ar>

Twitter: @aningenieria

Instagram: @aningenieria

YouTube: <https://youtube.com/channel/UCVdSMNFJE0GuO8g6KHxE3nQ>