

ECONOMÍA CIRCULAR DEL AGUA: USO, TRATAMIENTO Y REÚSO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA, ARGENTINA

Por
COMELLAS, Eduardo Alejandro
AGNENI, Araceli Virginia

INTRODUCCIÓN

La Economía Circular –EC– es un modelo económico que reduce, reutiliza y recicla los recursos naturales y materiales para minimizar el impacto ambiental y fomentar la sostenibilidad. Se trata de un enfoque alternativo al modelo económico lineal de extraer, producir, consumir y desechar. En contraposición, la EC busca promover un uso eficiente de los recursos y minimizar el impacto ambiental de la producción y el consumo. La EC tiene varios beneficios tanto para el ambiente como para la economía: en primer lugar, busca reducir la cantidad de residuos y emisiones contaminantes generadas por la producción y el consumo de bienes y servicios; por otro lado, fomenta la innovación y la creación de empleo en sectores relacionados con la gestión de residuos y la producción de bienes y servicios sostenibles.

La implementación de la EC contribuye a mejorar la calidad de vida de las comunidades, promoviendo un desarrollo económico equitativo y sostenible. Esto se logra a través de la reutilización, el reciclaje, la recuperación de materiales y energía, lo que disminuye la extracción de recursos naturales, reduce la contaminación del aire, agua y suelo.

La EC puede conllevar implementar soluciones a problemas asociados con la disposición final de efluentes cloacales. Así, específicamente en el sector vinculado con los recursos hídricos, surge la Economía Circular del Agua –ECA–. La ECA constituye un enfoque que busca gestionar el agua de una manera más sostenible y eficiente, emulando los procesos naturales del ciclo hidrológico. En este modelo, el agua se trata como un recurso valioso que debe ser conservado y utilizado de manera responsable, en lugar de ser considerado como un residuo que se desecha.

En virtud de sus postulados, la ECA puede contribuir a disminuir problemas asociados con la disposición final de efluentes cloacales, la generación y propagación de enfermedades, la emisión de gases de efecto invernadero, la afectación a la flora y fauna del ecosistema. En particular, la disposición final de efluentes cloacales es un problema ambiental grave, de incidencia en el plano global, nacional y regional.

En algunos países y regiones, se están tomando medidas para reducir los impactos asociados al tratamiento y reúso de efluentes. No obstante, su generalización es de utilidad ya que los cuerpos de agua, como ríos, lagos y mares, son los más afectados por la contaminación. Para reducir los niveles de agentes contaminantes en los cuerpos de agua debido a la disposición final de efluentes cloacales, se pueden implementar diversas medidas. Algunas de ellas son tratamiento de aguas residuales, control de vertidos, fomento del uso de tecnologías limpias, educación ambiental y monitoreo constante.

Por otro lado, la disposición inadecuada de los efluentes cloacales puede tener graves consecuencias para la salud humana (OMS, 2020). Cuando los efluentes no son tratados adecuadamente, pueden contener bacterias, virus, parásitos y productos químicos tóxicos que pueden causar Enfermedades de Transmisión Hídrica –ETH–, tales como gastroenteritis, hepatitis, fiebre tifoidea y cólera. Además, los efluentes pueden contaminar el agua subterránea y superficial, lo que afecta la calidad del agua potable y aumenta el riesgo de Enfermedades de Transmisión Hídrica –ETH– (Llop, 2002). Por lo anterior, resulta importante asegurar una adecuada disposición final de los efluentes cloacales para proteger la salud pública y el ambiente.

En sintonía con varios casos evidenciados en otras zonas del mundo, el reúso agrícola en la provincia de Mendoza se torna en una herramienta fiable para morigerar los efectos de una contracción de la oferta de recursos hídricos (impactos derivados del cambio climático fundamentalmente) así como también enfrentar la expansión de la demanda de agua (por efectos del crecimiento población y la actividad económica). La aplicación de los efluentes tratados para riego agrícola, en conformidad con la política de vuelco cero de efluentes a cauce, permite obtener beneficios como: incremento de la superficie cultivada o bien, si se conserva la superficie existente, liberar agua para su utilización en abastecimiento poblacional; incorporación de nutrientes a los cultivos, transformando a los efluentes tratados en un recurso de fertirrigación; evitar la contaminación de cauces superficiales frente a salidas de régimen o funcionamiento deficiente de la Planta

Depuradora; posibilita un tratamiento adicional del efluente, permitiendo recargar acuíferos sin afectar su calidad. Para optimizar el reúso de aguas residuales es necesario contar con las condiciones y conocimientos necesarios por parte de los agricultores (ya que esto garantizará una reducción de las ETH y la preservación ambiental).

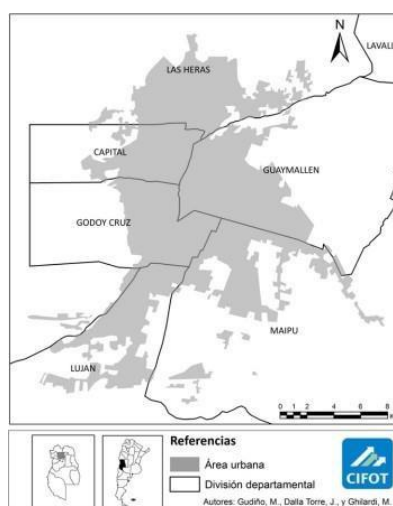
A los efectos del presente trabajo, se entenderá como aguas residuales a aquellas que se generan tras ser utilizadas en domicilios particulares, fábricas, actividades ganaderas u otras. Las aguas residuales aparecen sucias y contaminadas ya que en su composición pueden detectarse grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y del ganado, herbicidas, plaguicidas y, en ocasiones, algunas sustancias tóxicas asociadas con metales pesados. Resulta ambiental, económica y socialmente deseable que estas aguas sean incorporadas a la oferta hídrica disponible. Es por ello que son conducidas hacia plantas o estaciones depuradoras donde son tratadas, devolviéndolas al ciclo hidrológico en buenas condiciones cualitativas.

Zona de estudio

La zona de estudio comprende el Área Metropolitana de Mendoza –AMM–, donde la empresa Agua y Saneamiento Mendoza –AySaM– se encarga de la cobertura del servicio de agua potable y saneamiento y en la cual se ubican dos importantes plantas de tratamiento de efluentes cloacales.

La Provincia de Mendoza, ubicada en el centro oeste de la Argentina, posee su principal metrópolis establecida geográficamente en el Centro – Norte de la Provincia, tal como se refleja en la Ilustración 1. En el AMM reside el 80% de la población (1,5 millones de habitantes) y concentra más del 75% del Producto Bruto Geográfico de la provincia.

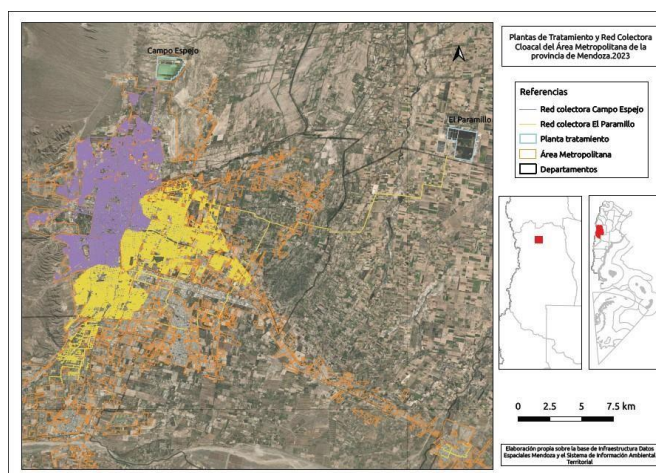
Ilustración 1. Área Metropolitana de Mendoza, Argentina



Fuente: Gudiño, M. E., Ghilardi, M. y Dalla Torre, J. (2017)

El AMM posee en operación dos plantas de tratamiento y depuración de efluentes urbanos (Ilustración 2): Paramillos (la cual trata los efluentes de la zona Este) y Campo Espejo (la que trata los efluentes cloacales de la zona Oeste). El agua, luego de ser tratada en estos sitios, se canaliza hacia Áreas de Cultivos Restringidos Especiales –ACRE– (con restricciones en cuanto a cultivos y de acuerdo a lineamientos sanitarios de la Organización Mundial de la Salud –OMS–) para su aprovechamiento productivo.

Ilustración 2. Ubicación de las plantas de tratamiento, red colectora cloacal y ACREs del AMM



Fuente: elaboración propia. Agneni, E. (2023)

Relevancia de la temática

La necesidad de analizar en detalle posibles mejoras en el sistema de abastecimiento poblacional, proclives al ahorro de agua, resulta necesaria si se toma en cuenta la escasez cuantitativa y cualitativa de los recursos hídricos de la región. El promedio de precipitaciones alcanza los 250 milímetros anuales. La oferta hídrica superficial proveniente de los ríos Mendoza y parte del río Tunuyán Inferior, aportan en promedio, 2.650 hm³/año según datos extraídos del Marco Estratégico para la provincia de Mendoza (UNCuyo, 2005). Sin embargo, el caudal de estos ríos ha disminuido un 5% y un 10%, respectivamente, durante la última década en comparación con sus promedios históricos.

Por otra parte, el sistema hídrico subterráneo se encuentra conformado por dos tipos de acuíferos, uno libre y otro confinado estructurado en tres niveles de explotación: nivel freático, segundo nivel y tercer nivel. El volumen medio anual posible de extraer en función de la infraestructura vigente asciende a 800 hm³ / año. Si bien cuenta con una recarga anual del orden de los 600 hm³ y un stock estimado en más de 270.000 hm³, los niveles de salinidad en varios sitios superan los 4.000 µS/cm (siendo el máximo recomendable 1.600 µS/cm para consumo humano y 2.500 µS/cm para la producción agrícola). Comparando la oferta total disponible de agua en condiciones cualitativas aceptables con la demanda existente por el recurso, la primera supera a la segunda en apenas un 4% (UNCuyo, 2005).

Otro dato que muestra la gravedad de la situación actual, resulta de analizar el comportamiento del Dique Potrerillos, principal embalse del AMM. El mismo entró en operación en el año 2003 y cuenta con una capacidad de almacenamiento de 393 hm³. Sin embargo, según registros brindados por el Departamento General de Irrigación –DGI–, en octubre de 2022 el dique contenía un volumen de 233 hm³ de agua (40% de su capacidad); en la misma fecha, en 2010, poseía 370 hm³; en 2012, 350 hm³; y en 2019 264 hm³. Actualmente el nivel del mismo se ha recuperado siendo su volumen cercano a su capacidad máxima. Estas sucesivas oscilaciones que pueden ser visualizadas en la Ilustración 3, denotan la necesidad de adoptar medidas que permitan tomar decisiones bajo situaciones de incertidumbre.

Ilustración 3: Dique Potrerillos. Izquierda, año 2020; derecha, año 2022.



Fuente: fotografía tomada por los autores. Comellas, Agneni (2022)

Fundamentación:

La concepción de la gestión del territorio y del ambiente bajo los paradigmas de la EC, implica además de las 3Rs –Reducir, Reutilizar y Reciclar–, orientar la gestión e implementación de acciones tendientes a idear, concretar y armonizar políticas, planes, programas y proyectos de índole pública o privada (económicos, sociales, legales, ambientales, culturales, etc.) sobre un espacio determinado para la consecución de objetivos socialmente beneficiosos. Esta estructura conceptual obliga a pensar en las problemáticas asociadas a la Gestión Integral de los Recursos Hídricos –GIRH–, desde una visión general del ambiente y, al mismo tiempo, desde una apreciación particular sobre los recursos hídricos. De ese modo, una vez conocidas las relaciones causales e implicancias asociadas a las mismas, se podrán diseñar las herramientas que, partiendo de esa visión general, sean susceptibles de ser aplicadas al plano local o sectorial, guardando coherencia con esa cosmovisión general atendiendo al carácter sistémico del entorno y contemplando las relaciones entre todas las variables que interactúan en el espacio (Comellas, 2015).

Bajo este concepto de gestión, la ECA debe atender al modo en cómo la sociedad gestiona los recursos hídricos en general y, en particular aquellos direccionados a satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y reúso. Lo anterior resulta trascendental para garantizar a las actuales y futuras generaciones una adecuada calidad de vida. En buena parte del mundo, la escasez creciente de agua, la reticencia a realizar las inversiones en la red de agua potable y el rol que desarrollan los estados en la prestación o regulación de este servicio, constituyen motivos suficientes para verificar la consecución de objetivos generales de sostenibilidad económica, social y ambiental asociados a la prestación del servicio de agua potable y reúso de efluentes. En

ese sentido, se considera clave verificar las implicancias de sistemas de tratamiento y reúso que guarden relación con la relativa escasez del recurso frente a escenarios alternativos.

En Mendoza y vastas zonas desérticas y semidesérticas del mundo, la escasez creciente de agua, el déficit en inversiones destinadas a la red de tratamiento y reúso, los roles que desarrollan los Estados y entes encargados de la prestación de estos servicios, constituyen motivos suficientes para verificar la consecución de objetivos planteados. Lo anterior adquiere mayor relevancia si se tiene presente que:

- La zona urbana de Mendoza es, según la Asociación de Entes Reguladores de Agua y Saneamiento de las Américas –ADERASA– (2010), la localidad donde más agua potable se consume en toda América Latina y es uno de los pocos sitios en los que se realiza su reúso.
- El indicador de estrés hídrico, definido como la cantidad de agua disponible por año por habitante, se ubica en la zona bajo estudio en 1.560 m³. Esta cifra se ubica muy cerca de los 1.700 m³, valor límite (Cosgrove y Rijsberman, 2000) para evitar decrementos en la capacidad productiva, situaciones de conflictividad social y profundización de la pobreza.
- Los glaciares que alimentan los ríos de Mendoza (Leiva, et al., 2016), están en un proceso de retroceso.
- Por otro lado, (UNCuyo, 2005) el fenómeno de la macrocefalia que padece el Gran Mendoza producto del incremento de la población en el aglomerado urbano, imprimiría una presión progresiva sobre la escasa oferta hídrica de la zona.
- La contaminación por efecto del contenido salino de las aguas subterráneas en el Oasis Norte de Mendoza (Llop, 2002), ha llegado a comprometer la disponibilidad existente y a limitar su utilización futura para usos agrícolas inclusive.
- Por efecto del Cambio Climático Global –CCG– (Villalba y Boninsegna, 2010), los Modelos de Circulación General de la Atmósfera –MCGA– anticipan: merma en los caudales de los ríos de Los Andes Centrales (de 10% a 20%) para 2035, disminución de precipitaciones níveas en la Alta Cordillera e incremento de lluvias en las zonas de planicie.

Situación actual del reúso de efluentes en Mendoza

La utilización de agua tratada en la agricultura, tanto de origen urbano como industrial, es una opción cada vez más implementada a nivel mundial. Resulta fundamental en zonas con déficit hídrico asociado al aumento de demanda, disminución de oferta y contaminación de los recursos existentes. La viabilidad de los proyectos de reutilización depende de una serie de factores clave, tales como: (i) características físicas y geográficas del área, (ii) costos de tratamiento e infraestructura, (iii) licencia por parte de la sociedad, (iv) impacto ambiental generado, y (v) existencia de una adecuada normativa de regulación.

Tal como se comentó, en el Gran Mendoza coexisten dos importantes plantas depuradoras: Campo Espejo y Paramillos. Los efluentes tratados en las mismas, son posteriormente reutilizados para riego agrícola en Áreas de Cultivos Restringidos Especiales –ACREs–.

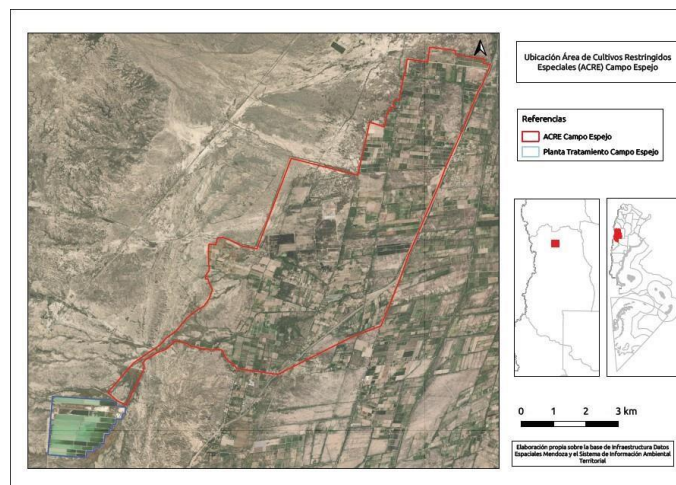
Las Áreas de Cultivos Restringidos Especiales son, según el Departamento General de Irrigación –DGI– (2023), áreas agrícolas destinadas al aprovechamiento productivo de los efluentes tratados que provienen de plantas depuradoras de líquidos cloacales. Los mismos deben cumplir con los parámetros de calidad previstos para estos fines.

El Marco Regulatorio de estas áreas se remite a las Resoluciones DGI 400/2003 (Reglamento General de ACREs) y DGI 500/2006. Si bien las ACREs implican un manejo especial desde el punto de vista de distribución, su administración puede encuadrarse en el formato que el DGI tiene para el riego con aguas superficiales. De este modo, una vez que hay un cierto número de regantes, estas zonas pueden tomar la forma de inspecciones de cauce. En el AMM existen dos inspecciones vinculadas a estas áreas especiales, ACRE Campo Espejo y ACRE Paramillos.

! Planta de Tratamiento Campo Espejo:

Esta Planta, inaugurada en 1976, depura los líquidos cloacales de 436.000 habitantes (2023) de la zona Oeste del AMM, tratando 1,48 m³/s. Esta cifra representa alrededor del 3% del promedio anual del caudal del río Mendoza. Actualmente está concesionada a una Unión Transitoria de Empresas y toda el agua tratada riega el ACRE Campo Espejo (Ilustración 4). Éste es administrado por un consorcio de regantes (Inspección de Cauce), el cual cuenta con más de 200 usuarios ocupando una superficie de 2.860 hectáreas con derecho de riego. Desde los datos anteriores, puede estimarse que, cada hectárea del área insume diariamente, 42 m³ de agua tratada por la Planta. En épocas estivales se podrían irrigar 2.370 hectáreas, mientras que en periodos invernales esta cifra potencial se elevaría a 8.530 hectáreas.

Ilustración 4. Planta de Tratamiento y Área de Cultivos Restringidos de Campo Espejo



Fuente: Planta de tratamiento Campo Espejo y ACRE. Elaboración propia, Agneni E. (2023)

Ilustración 5: Planta Campo Espejo. Canal receptor de aguas tratadas.



Fuente: Banco de imágenes del Departamento General de Irrigación.

En los ACRE de la Planta Campo Espejo se cultivan diversas especies autorizadas (Ilustración 6) en diferentes proporciones (Tabla 1). Se observa que, del total de hectáreas con derecho a riego, se cultivan 1630 (57%), de las cuales el 75% corresponde solo a vid, hortalizas, bulbos (ajo) y forrajes.

Ilustración 6. Campo Espejo. Cultivos irrigados con agua cloacal tratada.



Fuente: Banco de imágenes del Departamento General de Irrigación.

Tabla 1. Superficie cultivada en Acre Campo Espejo (en hectáreas y proporciones)

Fuente: Elaboración propia Estadística e Investigaciones

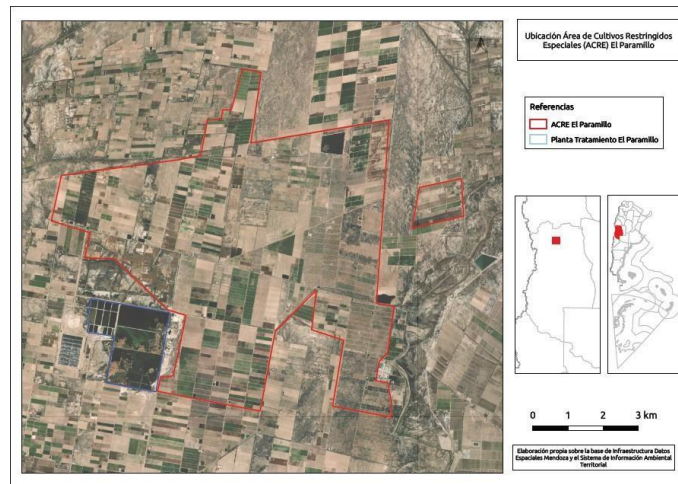
Cultivo	Proporción	Hectáreas
Vid	25,21%	411
Hortalizas	19,82%	323
Bulbos	15,52%	253
Forrajeros	9,94%	162
Álamos	9,45%	154
Olivos	9,08%	148
Frutas	4,54%	74
Almendras	2,02%	33
Tubérculos	1,53%	25
Pasturas	1,47%	24
Eucaliptos	1,35%	22
Totales	100%	1.630

con datos aportados por la Dirección de Económicas de Mendoza –DEIE–

! Planta de Tratamiento Paramillos:

Paramillos se inauguró en 1986 y trata un caudal de $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$ proveniente de la zona Este (Ilustración 8) del AMM (Observatorio del Agua, 2023). Esta cifra representa alrededor del 3,5% del promedio anual del caudal del río Mendoza. En la misma se depuran los líquidos cloacales provenientes de 537.000 habitantes (2023). La superficie empadronada con derecho a riego es de 3.000 hectáreas. Desde los datos anteriores, puede estimarse que cada hectárea del área insume, diariamente, 50 m^3 de agua tratada por la Planta. En épocas estivales se podrían irrigar 2.800 hectáreas, mientras que en periodos invernales esta cifra potencial se elevaría a 10.000 hectáreas.

Ilustración 7. Planta de Tratamiento Paramillos y ACRE.



Fuente: Planta de tratamiento Campo Espejo y ACRE. Elaboración propia, Agneni E. (2023)

Ilustración 8: El Paramillo. Punto de vuelco al canal de fuga que desemboca al río.



Fuente: Banco de imágenes del Departamento General de Irrigación.

Del total de hectáreas con derecho a riego se cultivan en el ACRE 2.050 hectáreas (68%), donde se irrigan diferentes tipos de cultivos en distintas proporciones (Tabla 2 e Ilustración 9). Se aprecia, desde la lectura de esta Tabla que el 75% del total de la superficie irrigada es ocupado por vid, hortalizas y olivos.

Tabla 2. Superficie cultivada en Acre Paramillos (en hectáreas y proporciones)

Cultivo	Proporción	Hectáreas
Vid	38,49%	789
Hortalizas	21,27%	436
Olivos	15,17%	311
Forrajeros	10,24%	210
Bulbos	8,88%	182
Frutas	0,73%	15
Zanahorias	2,78%	57
Tubérculos	0,29%	6
Álamos	2,15%	44
Totales	100%	2.050

Fuente: Elaboración propia con datos aportados por la DEIE

Ilustración 9. El Paramillo. Cultivo de ajo con aguas tratadas.



Fuente: Banco de imágenes del Departamento General de Irrigación.

Síntesis:

Las plantas de tratamiento Campo Espejo y Paramillos tratan actualmente, en conjunto, 3,23 m³/s de efluentes provenientes del AMM. El caudal tratado representa alrededor del 6,5% del caudal anual del río Mendoza y cerca del 8% del total de agua superficial de la cuenca destinada a riego agrícola. Las hectáreas empadronadas para irrigar suman un total de 5.860. La superficie actualmente cultivada es cercana a las 5.860 hectáreas. La superficie cultivada potencial en los ACRES de ambas plantas ascendería, en épocas estivales a 5.970, mientras que en periodos invernales esta cifra podría ser cercana a las 18.530 hectáreas.

Objetivo

El objetivo general de este trabajo está orientado a promover los paradigmas de la Economía Circular aplicada al uso y reúso del agua. Se pretende determinar cómo la Economía Circular del Agua puede propender a reducir futuros déficits del recurso, analizando las implicancias de su consumo, tratamiento, reúso y valor económico de la producción de las plantas de tratamiento y sus áreas de cultivo en el AMM.

Hipótesis

Los preceptos de la Economía Circular, aplicado al sector del agua (Economía Circular del Agua), podrían morigerar los impactos futuros de escasez del recurso. El déficit generado como consecuencia de la expansión de la demanda –por incremento de la población y producción agroindustrial– y la contracción de oferta –en virtud de los impactos derivados del cambio climático global y el deterioro cualitativo del agua–; podría ser cubierto, en parte, por la implementación de medidas de recirculación y la articulación armónica de instrumentos que coadyuven a emular el ciclo natural del agua, contribuyendo a su optimización en todos los usos.

Importancia de los resultados

Los países de América Latina y el Caribe presentan altos márgenes de su población en condiciones de pobreza o indigencia. El problema se ve exacerbado y retroalimentado por fallas en los sistemas educativos, previsionales, médico-asistenciales, etc. Las implicancias de un inadecuado sistema de provisión, tratamiento y reúso del agua en el marco de los preceptos de la ECA, incrementan la conflictividad social, la inequidad y las posibilidades de desarrollo.

Si bien Latinoamérica cuenta con la disponibilidad de agua per cápita más alta del mundo, duplicando el promedio mundial, tan solo el 39% de la población tiene acceso a servicios de provisión de agua, el 18% a condiciones básicas de saneamiento y tan solo el 0,55% del agua consumida en los hogares es reutilizada. Las consecuencias sanitarias de estos déficits son graves: 160.000 niños menores de cinco años mueren anualmente en los países de la región (WHO, 2022).

Ante la realidad, se hace prioritario establecer adecuados instrumentos que permitan romper con el círculo vicioso que, comenzando con la escasez de recursos para inversiones en proyectos de agua potable, saneamiento y reúso, continúa en una mala y deficiente cobertura de los servicios (cualitativa y cuantitativa). Como consecuencia, existe una baja voluntad de pago que retroalimenta el proceso de decadencia de los sistemas de saneamiento. Exacerbando este ciclo, se encuentran las fuertes restricciones presupuestarias de los Estados, lo que limita la implementación y expansión de los servicios necesarios para el adecuado funcionamiento de los mecanismos de la ECA

Por lo anterior, resulta prioritario diseñar instrumentos que sean eficientes desde el punto de vista económico, social, jurídico y técnico para propender al estudio, implementación, gestión y desarrollo de adecuados sistemas de reúso de efluentes. Tales iniciativas permitirán incrementar la oferta hídrica potencial –a través de lineamientos de generación de agua no convencional–, garantizar la equidad vertical y horizontal de los usuarios, permitir la sustentabilidad económica del prestador, y contribuir al alcance del DS dentro de los países de América Latina.

MARCO TEÓRICO

La Economía Circular –EC– constituye un modelo de producción y consumo que implica compartir, reutilizar, alquilar, reparar y reciclar bienes existentes o residuos del sistema económico-productivo (Ellen Macarthur Foundation, 2014). Su objetivo es mantener el valor de los productos, materiales y recursos en el sistema durante el mayor tiempo posible y, de este modo, su ciclo de vida se extendería.

La EC presenta soluciones sistémicas para el desarrollo económico, abordando las causas de los mayores retos mundiales, tales como: cambio climático, pérdida de biodiversidad, incremento de residuos y contaminación (Pruitt y Waddell, 2015). Se encuentra impulsada por el diseño de productos reutilizables y sustentada por el uso de energías y materiales renovables, replanteando íntegramente los actuales patrones de diseño, producción y consumo (Psathakis, 2010).

El concepto de EC se contrapone con el modelo de Economía Lineal –EL– de producción y consumo. En éste último existe sobre extracción de materias primas, uso intensivo de la energía y generación de residuos totalmente inútiles para el sistema (Ilustración 10). Bajo este antiguo paradigma el ambiente se concebía como un infinito proveedor de recursos y un medio para absorber y depurar los residuos generados por el proceso de crecimiento. Sin embargo, durante las últimas décadas se ha apreciado que las externalidades negativas de este modelo productivo han incidido en la degradación del planeta, incrementando la desigualdad y vulnerabilidad de las poblaciones más marginadas (tornándose en un impedimento para su desarrollo).

Ilustración 10. Pasos que dan forma a una economía lineal en contraposición con los de la economía circular



Fuente: elaboración propia sobre la base de contenidos extraídos de la web.

Las diferencias entre la EL y la EC, van más allá de la mera unión de los extremos del modelo de economía lineal. En ese sentido, la EC se sustenta en tres pilares (Ilustración 11) o principios fundamentales: (i) diseño para la circularidad, el cual se encuentra enfocado en diseñar productos y sistemas que permitan su reutilización, reparación y reciclaje, evitando la generación de residuos y reduciendo la extracción de nuevos recursos; (ii) mantenimiento y extensión de la vida útil de los productos, buscando prolongar su capacidad de uso; y (iii) regeneración de los sistemas naturales induciendo la restauración y regeneración de los ecosistemas naturales y comunidades locales.

Ilustración 11. Principios de la Economía Circular



Fuente: Dr. F. González Villarreal y MsC.C. Arriaga Medina. En Impluvium; publicación digital de la Red del Agua UNAM www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero09.pdf

Los principios anteriormente comentados, tienen una innegable relación con los postulados del Desarrollo Sostenible –DS–. El mismo es concebido como aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las de las generaciones futuras (Informe Brundtland, 1987) y propende al equilibrio entre ambiente, sociedad y economía. Actualmente, los preceptos del DS se ven subsumidos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible –ODS– (ONU 2015). El DS (Boer, 2015 y Spangenberg, 2017) adopta una postura en defensa del ambiente promotora de la continuidad de las generaciones, afirmando que es necesario desarrollar en armonía y coherencia un conjunto de herramientas de producción y consumo que tengan en cuenta las limitaciones físico - ecológicas del planeta, permitiendo mejorar la calidad de vida y las condiciones de la supervivencia humana.

Desde la perspectiva de la evolución de los paradigmas económicos y ambientales, la EC constituye una conciliación entre ambos postulados representando un cambio estructural. No hace demasiado tiempo atrás, la economía como ciencia postulaba que el crecimiento económico de una determinada región o país se debía, casi en forma exclusiva, a la dotación de factores productivos y a la acumulación de bienes de capital. Bajo estos lineamientos, y siguiendo los modelos económicos tradicionales, el crecimiento era alcanzable si aumentaba el stock de capital y factores productivos (Harrold, 1939 y Domar, 1946).

Con el tiempo, las evidencias empíricas fueron demostrando que estos dos postulados estaban lejos de ser creíbles: por una parte, el stock de recursos naturales no renovables comenzó a reducirse, encareciéndose los costos de extracción hasta hacer, en muchos casos, que su uso resultara prohibitivo; además, los mal llamados recursos naturales renovables, comenzaron a evidenciar serios deterioros en su calidad y en el grado de accesibilidad de algunos sectores de la sociedad hacia los mismos. Por otra parte, la idea de considerar al medio como un receptor absoluto e inmutable de residuos comenzó a perder asidero.

Las poblaciones humanas (Malthus, 1798), tienden a aumentar su número de manera geométrica mientras que la producción de alimentos crece de modo aritmético. Este postulado planteaba que el desarrollo de las poblaciones humanas se vería restringido por severas limitantes naturales: las ganancias obtenidas en productividad, producto de mejoras tecnológicas, serían rápidamente absorbidas por los incrementos demográficos. Más recientemente, esta idea fue abordada por el Club de Roma (Meadows y Meadows, 1972), el cual alertaba sobre las limitantes al crecimiento impuestas por la capacidad de carga del planeta desde el punto de vista físico. En ese sentido (Melnick, 1980), se comenzaba a emplear el término “capacidad de sustentación del sistema” para referirse a esta crisis limitante para el desarrollo de la humanidad.

Bajo estos escenarios de potenciales crisis sistémicas, es que comienzan a desarrollarse los primeros postulados ecologistas, los cuáles sucintamente planteaban la aparente incompatibilidad entre el crecimiento

de una economía y el cuidado del entorno ambiental que la sustenta. Buscando subsanar este déficit, diversas corrientes comienzan a proponer el concepto de desarrollo económico por sobre el de crecimiento. No obstante, actualmente la aparente dicotomía existente entre los postulados establecidos por el crecimiento económico, por un lado, y la protección ambiental por otro, se encuentra en una etapa de conciliación. Ambos conceptos han comenzado a integrarse de modo tal que, el aparente antagonismo entre ellos se ha reducido, e incluso se han entremezclado algunos de sus principios aparentemente inconciliables, dando lugar a la idea de que es posible el DS.

Así, dentro de esta nueva concepción, para la EC el rol que cumplen los recursos naturales y el ambiente es central, ya que la sustentabilidad del desarrollo económico se encuentra apuntalada por la disponibilidad, en calidad y cantidad, de los recursos naturales. Dentro de este marco, la sociedad comienza a visualizar un horizonte temporal de largo plazo, sólo alcanzable mediante la adecuada interacción de las actividades productivas, los patrones de consumo, y el cuidado del ambiente. Para concretar esa conciliación resulta trascendental contar con instrumentos que incentiven un uso racional de los recursos naturales (Comellas, 2014).

La ECA se erige como uno de los pilares fundamentales en la transición de sistemas económicos lineales hacia modelos circulares. Al manejar un recurso vital y a menudo escaso, su eficiente gestión se torna crucial, dada la naturaleza circular inherente al ciclo del agua y su relevancia en ámbitos clave como la energía y la gestión de residuos. Se ve materializada a través del diseño de sistemas que emulen el ciclo hidrológico natural, utilizando el recurso cuantas veces se pueda. En el caso del consumo de agua por parte del sector urbano, el concepto se sustenta en la regeneración de las aguas residuales, reutilizándolas en otras aplicaciones tales como: riego agrícola, mantenimiento de parques y jardines, limpieza y demás usos no consuntivos. Para el caso de los sectores industriales, la ECA se pone en práctica utilizando los recursos hídricos regenerados desde sus propios efluentes para la elaboración de nuevos productos, el funcionamiento de equipos específicos y su destinación hacia reservas arbustivas que permitan la absorción de carbono.

Cuando la ECA se aplica al potencial reúso de los recursos hídricos derivados del sector urbano, se señala que se cuenta con un flujo relativamente estable, al estar relacionado con el consumo de agua poblacional. El costo de depuración de estas aguas es menor que las obtenidas mediante obras ingenieriles de trasvases u onerosos y complejos métodos de desalinización. Así, con adecuados métodos de tratamiento, su calidad es suficiente para la mayoría de los usos no consuntivos. Por ello, gran parte de la circularidad en el agua se logra a través de las mejoras en la depuración de las aguas residuales, lo que permite, simultáneamente, la recuperación de agua regenerada para nuevos usos.

Entre las ventajas de la ECA (Ellen MacArthur Foundation, 2014) la utilización de aguas regeneradas permite: (i) reducir la sobre explotación de acuíferos; (ii) sustituir usos en los que se esté utilizando agua de mayor calidad; (iii) proporcionar flujos para garantizar caudales ecológicos mínimos; y (iv) disminuir el consumo de fertilizantes en el sector agrícola, aprovechando los nutrientes que estos recursos pueden aportar. En virtud de lo anterior, las aguas de reúso deben considerarse como un recurso no convencional y su gestión debe incluirse en una adecuada Gestión Integral de los Recursos Hídricos –GIRH–. Un adecuado tratamiento que alcance cierto umbral cualitativo de los efluentes, constituye el factor clave para motorizar la ECA.

METODOLOGÍA Y SUPUESTOS

Metodológicamente se estimarán dos escenarios: Escenario Tendencial –E_T– y Escenario Potencial –E_P–. El primero hace referencia a las actuales condiciones de tratamiento y reúso de las aguas domésticas residuales en ambas plantas, considerando la cantidad de efluente tratado y proponiendo un crecimiento tendencial del sistema hasta 2035; se asume un crecimiento poblacional de igual ritmo que el evidenciado durante la última década. El segundo escenario, analizado para ese horizonte temporal, plantea una situación prospectiva optimizada del sistema. Se asume el mismo comportamiento demográfico, pero se establecen mejoras en la infraestructura de las plantas (susceptibles de ser realizadas en los próximos años), y la incorporación progresiva de la totalidad de las viviendas a la red cloacal. En ambos casos se estima: cantidad de efluentes tratados, población beneficiada (actual y proyectada), superficie irrigada actual y potencial en cada ACRE, tipo de cultivo implantado y valor económico total de la producción de cada zona.

Se comparan los resultados de ambos escenarios para determinar los beneficios asociados a las mejoras potenciales del sistema y su contribución a la ECA, comparando la variación del valor de la producción. Para efectuar estos cálculos, se considera el precio de cada producto expresado en USD por kilo –libre de IVA– y la proporción de hectáreas implantadas con cada cultivo. Finalmente, se estima el Valor Actual de los Beneficios derivados de la producción en los ACRE, considerando una tasa de descuento del 20% para un horizonte temporal hasta 2035.

Supuestos para la construcción de escenarios:

Escenario Tendencial –E_T–

- El crecimiento de la población, estimado según el método proyección lineal (extrapolando la tendencia de crecimiento observada y asumiendo que seguirá siendo constante), alcanza el 2,05% anual.
- El caudal anual promedio del río Mendoza se mantiene dentro de los valores históricos: 50 m³/s.
- El consumo promedio per cápita de agua potable que se ubicará en alrededor de 450 l/h.d (Agua y Saneamiento Mendoza –AYSAM–, 2023). Se asume que un porcentaje aproximado del 60% de los mismos serán vertidos a las redes cloacales.
- Se asume que la eficiencia de conducción externa –agua no contabilizada– resulta mejorada en un 20%.
- La cantidad de conexiones hacia el sistema cloacal que deriva en las plantas de tratamiento se incrementará a la tasa a la cual aumenta la población servida.
- La Planta de Tratamiento de efluentes cloacales Paramillos, mantiene su actual capacidad de depuración, tratando 1,75 m³/s.
- La Planta de Tratamiento de efluentes cloacales Campo Espejo, mantiene su actual capacidad de depuración, tratando 1,48 m³/s.
- La superficie cultivada en el ACRE de Paramillos mantiene las actuales dimensiones, irrigándose 3000 hectáreas con agua tratada en la Planta.
- La superficie cultivada en ACRE Campo Espejo mantiene las actuales dimensiones, irrigándose 2860 hectáreas con agua tratada en la Planta.
- Las proporciones de cada especie cultivada en ambos ACREs y sus respectivos rendimientos agronómicos se mantendrán sin cambios. No se generarán distorsiones en los precios relativos (y en términos reales) de las toneladas de cada cultivo.
- Se invierte en infraestructura la cantidad necesaria para mantener el estado actual de las obras existentes en las plantas, sólo incrementando la capacidad de tratamiento de cada una de ellas en función del crecimiento demográfico del AMM.

Escenario Potencial –E_P–

- La tasa de crecimiento poblacional del AMM se incrementará progresivamente, bajo el supuesto de mejora en la calidad de vida, desarrollo económico e intensificación de migración a la ciudad, alcanzando para 2035 una variación del 2,6% anual.
- El caudal anual promedio del río Mendoza se reducirá, siguiendo los escenarios asociados con los Modelos de Circulación General de la Atmósfera –MCGA–, a valores anuales cercanos a 37 m³/s.
- La adecuada colocación de incentivos económicos y cobro volumétrico del servicio, el consumo promedio per cápita de agua potable que se reducirá y se ubicará en 300 l/h.d y un porcentaje aproximado del 60% de los mismos, serán vertidos a las redes cloacales.
- La cantidad de conexiones hacia el sistema cloacal que deriva en las plantas de tratamiento se incrementará, tanto por incorporaciones de nuevas edificaciones, como por conexiones progresivas al sistema de inmuebles previamente existentes a 2025.
- La Planta de Tratamiento de efluentes cloacales Paramillos, incrementará su capacidad de depuración, tratando 2,25 m³/s., mientras que Campo Espejo tratará 2 m³/s.
- La superficie cultivada en el ACRE de Paramillos podrá incrementarse y su nueva dimensión permitirá irrigar 5.000 hectáreas con agua tratada en la Planta, mientras que la superficie cultivada en el ACRE Campo Espejo podrá incrementarse y permitirá irrigar 4.500 hectáreas.
- Las proporciones de cada especie cultivada en ambos ACREs y su rendimiento agronómico se mantendrán sin cambios. No se generan distorsiones en los precios relativos (y en términos reales) de las toneladas de cada cultivo para ambos ACREs.
- Se efectúan las inversiones necesarias para ampliar la capacidad de tratamiento de cada planta a una tasa mayor que el crecimiento demográfico del AMM. Se supone que el incremento en la capacidad de tratamiento de ambas plantas y la superficie irrigada en los ACREs crecerá a una tasa del 10% anual hasta el año 2035.

Datos y supuestos adicionales:

Para calcular las cifras necesarias destinadas a abastecer los modelos de escenarios de simulación utilizados en este informe, se debe contar con los precios de los cultivos y sus rendimientos. Estos datos pueden ser estimados a través de las publicaciones periódicas elaboradas por la Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas del Gobierno de Mendoza.

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos a través de la aplicación de cálculos aplicados sobre estas bases de datos: las series históricas de precios anuales de los principales cultivos de la Provincia, expresados en términos de USD por tonelada de producción anual (según el tipo de cambio vigente), permiten determinar el precio promedio histórico de cada cultivo (USD por tonelada). Este cálculo, para cada uno de los tipos de plantaciones presentes en los ACREs de Paramillos y Campo Espejo, se muestra en la Columna (1) de la Tabla 3. Por otra parte, en la Columna (2) de la citada tabla, se presenta el rendimiento de cada hectárea productiva cultivada (toneladas por hectárea). Ese dato es calculado mediante el cociente entre el total producido de cada cultivo en la cuenca (expresado en toneladas) y la superficie ocupada por los mismos (expresada en hectáreas). La fuente de los datos para proceder a este cálculo es el organismo provincial anteriormente mencionado.

Tabla 3. Tipos, precio (en USD por tonelada) y rendimientos (toneladas por hectárea) de los cultivos implantados en ACREs

Tipo de cultivo	Precio (USD por tonelada) (1)	Rendimientos (toneladas por hectárea) (2)
Vid	103	10,8
Hortalizas	118	18,0
Olivos	3	10,0
Forrajeros	83	21,2
Bulbos	56	7,50
Zanahorias	7	20,0
Álamos	75	50,0
Frutas	97	20,0
Tubérculos	48	15,0
Pasturas	66	18,0

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos extraídos del Observatorio del Agua (2023)

Bajo los supuestos anteriores, se estimará el valor actual de los beneficios futuros derivados de la producción de cada uno de los ACREs hasta el año 2035 (horizonte temporal de 10 años, comenzando en 2025). Se utilizará para ello una tasa de descuento del 20%.

Finalmente, se compararán los rendimientos monetarios obtenidos bajo los supuestos del Escenario Tendencial y del Escenario Potencial. Para ello se calculará el Valor Actual de los Beneficios del E_t y el Valor Actual de los Beneficios del E_p. La diferencia entre ambos explica los potenciales beneficios asociados al reúso si se efectúan cambios estructurales y no estructurales en el desempeño del sistema. Con ello, se pretende determinar las implicancias económicas sustentadas en la aplicación de las propuestas presentadas.

RESULTADOS

Escenario Tendencial (E_T)

La Planta de Paramillos continúa con las mismas unidades de tratamiento y la actual superficie cultivada se mantiene (2.050 hectáreas). En la misma se continúan depurando los líquidos cloacales de la zona Este del Gran Mendoza. Debido al incremento tendencial de la población y a la falta de modificación en conductas de consumo, la cantidad de efluentes tratados podría estimarse en 1,95 m³/s (provenientes del tratamiento de los efluentes de 537 mil habitantes estimados para 2035)

La planta Campo Espejo mantiene las mismas unidades de tratamiento, llegando a irrigar la totalidad de las hectáreas empadronadas (2.860 hectáreas). La misma, depurará los líquidos cloacales de 450.000 habitantes estimados para 2035 de la zona Oeste del AMM, tratando aproximadamente 1,89 m³/s.

Con el supuesto derivado del uso potencial de la totalidad de hectáreas empadronadas, manteniendo la actual proporción de cultivos, asumiendo que no se efectuarán mejoras en los sistemas de tratamiento de las plantas y suponiendo que no se generarán cambios en los precios reales de los cultivos, el valor anual promedio de la producción de ambos ACREs ascendería a USD 4,95 millones. Este dato se obtiene sumando los totales visualizados en la Tabla 4 para cada una de las Plantas.

Tabla 4. Tipo de cultivo, proporción (%), superficie (hectáreas) y valor de la producción (USD) para las plantas Paramillos y Campo Espejo.

Cultivo	Planta de Tratamiento Paramillos			Planta de Tratamiento Campo Espejo		
	Proporción	Hectáreas	Valor de la producción (USD)	Proporción	Hectáreas	Valor de la producción (USD)
Vid	35,85%	735	818.088	26,30%	429	477.200
Hortalizas	20,31%	416	880.920	19,90%	324	686.299
Olivos	13,40%	275	9.340	9,73%	159	5.392
Forrajeros	9,50%	195	343.409	9,80%	160	281.675
Bulbos	8,05%	165	69.213	15,95%	260	109.040
Zanahorias	2,78%	57	8.274	0,00%	0	-
Álamos	2,15%	44	165.281	9,46%	154	578.243
Frutas	5,96%	122	236.895	4,51%	74	142.534
Tubérculos	2,00%	41	29.671	1,54%	25	18.166
Pasturas	0,00%	0	-	1,47%	24	28.375
Eucaliptos	0,00%	0	-	1,34%	22	62.250
Totales		2050	2.561.090	Totales	1630	2.389.173

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos extraídos del Observatorio del Agua (2023) y la Dirección de Estadísticas y Censos de la provincia de Mendoza

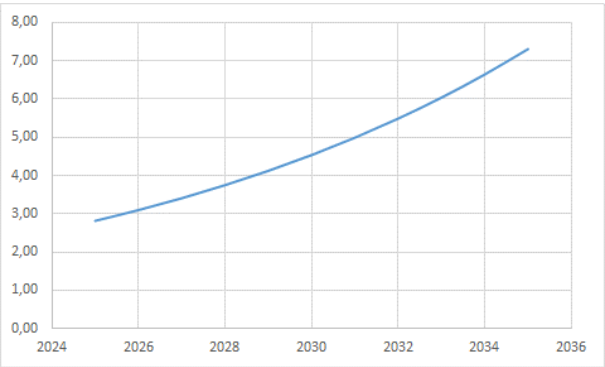
El valor actualizado de los beneficios de la producción, asumiendo un horizonte temporal hasta el año 2035 y una tasa de descuento del 20%, ascendería a USD 25,70 millones (Tabla 5)

Escenario Potencial (E_p)

La Planta de Paramillos podría ser readecuada para incrementar sus unidades de tratamiento. En la misma, podrían ser depurados 2,25 m³/s provenientes de 553.000 habitantes estimados y conectados a la red colectora cloacal para 2035 de la zona Este del Gran Mendoza. Con el supuesto derivado del uso potencial de la totalidad de hectáreas empadronadas, más cierta porción asociada al incremento del ACRE, la superficie podría alcanzar las 2.500 hectáreas. Se asume que estas cifras son alcanzadas progresivamente a razón de un 10% más en cada año del horizonte establecido. Se supone que se mantendrá la actual proporción de cultivos y que no hay cambios significativos en los precios reales de los mismos. Bajo estos supuestos, el valor anual derivado de la producción de los ACREs de Paramillos se incrementaría progresivamente desde USD 2,82 millones en 2025 a USD 7,31 millones en 2035. Por el lado de la superficie, la misma se incrementará a una tasa del 10% anual, desde las 2255 hectáreas para 2025 hasta 5849 en 2035.

El Gráfico 1 ilustra el comportamiento del valor de la producción del ACRE Paramillos para todo el horizonte temporal de estudio: en el eje de las abscisas se muestra el año, mientras que el de las ordenadas muestra el valor de la producción de cada uno de ellos expresado en millones de USD.

Gráfico 1: Evolución anual del valor de la producción de los ACREs de Paramillos bajo los supuestos del Escenario Potencial E_p

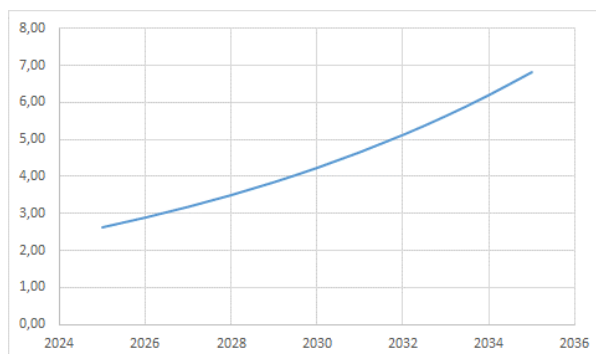


Fuente: elaboración propia sobre la base de datos extraídos del Observatorio del Agua (2023) y la Dirección de Estadísticas y Censos de la provincia de Mendoza

La Planta de Tratamiento Campo Espejo, podría incrementar su capacidad al expandir las unidades sujetas a tratar, alcanzando un volumen de 2 m³/s de efluentes depurados provenientes de los líquidos cloacales de 520.000 habitantes estimados para 2035 de la zona Oeste del AMM. Con el supuesto derivado del uso potencial de la totalidad de hectáreas empadronadas más cierta porción asociada al incremento del ACRE, la superficie irrigada podría alcanzar 4651 hectáreas. Se asume que estas cifras son alcanzadas progresivamente a razón de un 10% más en cada año del horizonte establecido. Se supone que se mantiene la actual proporción de cultivos y que no hay cambios significativos en los precios reales de los mismos. Bajo estos supuestos el valor derivado de la producción, ascendería desde los USD 2,63 millones para 2025 a los USD 6,82 millones en 2035. La superficie cultivada se incrementaría progresivamente desde las 1.793 a 4651 hectáreas.

El Gráfico 2 ilustra el comportamiento del valor de la producción del ACRE Campo Espejo para todo el horizonte temporal de estudio: en el eje de las abscisas se muestra el año, mientras que el eje de las ordenadas muestra el valor de la producción de cada uno de ellos expresado en millones de USD.

Gráfico 2: Evolución anual del valor de la producción de los ACREs de Campo Espejo bajo los supuestos del Escenario Potencial E_p



Fuente: elaboración propia sobre la base de datos extraídos del Observatorio del Agua (2023) y la Dirección de Estadísticas y Censos de la provincia de Mendoza

En la Tabla 7 se explicitan de modo detallado los alcances progresivos de las cifras anteriormente comentadas. En la misma puede observarse el comportamiento de la superficie y el valor de la producción estimados para el período 2025/2035 para ambas Plantas. Se muestra, además, el comportamiento de estas variables para cada tipo de cultivo presente para cada uno de los ACREs.

Finalmente, considerando el potencial de ambas zonas de cultivo (Campo Espejo y Paramillos), suponiendo la incorporación progresiva de viviendas a la red cloacal y mejoras en la infraestructura de las plantas, conjuntamente con la ampliación de la superficie cultivada en los ACREs, sería posible tratar conjuntamente, 4,25 m³/s de efluentes totales. El valor actual de los beneficios de la producción bajo estos parámetros, asumiendo un horizonte temporal desde 2025 a 2035 y una tasa de descuento del 20%, ascendería según se visualiza en la Tabla 6, a USD 100,91 millones.

Tabla 5: Valor Actual de los Beneficios bajo los supuestos del Escenario Tendencial. Millones de USD Horizonte temporal 2035, Tasa de descuento 20%

Año	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Beneficios	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
VAB (Et)	25,70										

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del Observatorio del Agua (2023) y la Dirección de Estadísticas y Censos de la provincia de Mendoza

Tabla 6: Valor Actual de los Beneficios bajo los supuestos del Escenario Potencial. Millones de USD. Horizonte temporal 2035. Tasa de descuento, 20%

Año	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Beneficios	5,45	5,99	6,59	7,25	7,97	8,77	9,65	10,61	11,67	12,84	14,12
VAB (Et)	100,91										

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del Observatorio del Agua (2023) y la Dirección de Estadísticas y Censos de la provincia de Mendoza

Tabla 7. Valor anual estimado de la producción y superficie cultivada en ACREs Campo Espejo y Paramillos -Ep- (USD millones, por tipo de cultivo, 2025-2035)

Cultivo		Año															
		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032	
		Superficie	USD	Superficie	USD	Superficie	USD	Superficie	USD	Superficie	USD	Superficie	USD	Superficie	USD	Superficie	USD
Planta de Tratamiento Paramillos	Vid	808	0,90	889	0,99	978	1,09	1.076	1,20	1.184	1,32	1.302	1,45	1.432	1,59	1.575	1,75
	Hortalizas	458	0,97	504	1,07	554	1,17	610	1,29	671	1,42	738	1,56	811	1,72	892	1,89
	Olivos	302	0,01	332	0,01	366	0,01	402	0,01	442	0,02	487	0,02	535	0,02	589	0,02
	Forrajeros	214	0,38	236	0,42	259	0,46	285	0,50	314	0,55	345	0,61	380	0,67	417	0,74
	Bulbos	182	0,08	200	0,08	220	0,09	242	0,10	266	0,11	292	0,12	322	0,13	354	0,15
	Zanahorias	63	0,01	69	0,01	76	0,01	83	0,01	92	0,01	101	0,01	111	0,02	122	0,02
	Alamos	48	0,18	53	0,20	59	0,22	65	0,24	71	0,27	78	0,29	86	0,32	94	0,35
	Frutas	134	0,26	148	0,29	163	0,32	179	0,35	197	0,38	216	0,42	238	0,46	262	0,51
	Tubérculos	45	0,03	50	0,04	55	0,04	60	0,04	66	0,05	73	0,05	80	0,06	88	0,06
	Pasturas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Eucaliptos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		2.255	2,82	2.481	3,10	2.729	3,41	3.001	3,75	3.302	4,12	3.632	4,54	3.995	4,99	4.394	5,49
Planta de Tratamiento Paramillos	Vid	472	0,52	519	0,58	571	0,64	628	0,70	690	0,77	759	0,85	835	0,93	919	1,02
	Hortalizas	357	0,75	392	0,83	432	0,91	475	1,00	522	1,11	575	1,22	632	1,34	695	1,47
	Olivos	174	0,01	192	0,01	211	0,01	232	0,01	255	0,01	281	0,01	309	0,01	340	0,01
	Forrajeros	176	0,31	193	0,34	213	0,37	234	0,41	257	0,45	283	0,50	311	0,55	342	0,60
	Bulbos	286	0,12	315	0,13	346	0,15	381	0,16	419	0,18	461	0,19	507	0,21	557	0,23
	Zanahorias	0	-	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
	Alamos	170	0,64	187	0,70	205	0,77	226	0,85	248	0,93	273	1,02	300	1,13	331	1,24
	Frutas	81	0,16	89	0,17	98	0,19	108	0,21	118	0,23	130	0,25	143	0,28	158	0,31
	Tubérculos	28	0,02	30	0,02	33	0,02	37	0,03	40	0,03	44	0,03	49	0,04	54	0,04
	Pasturas	26	0,03	29	0,03	32	0,04	35	0,04	39	0,05	42	0,05	47	0,06	51	0,06
	Eucaliptos	24	0,07	26	0,08	29	0,08	32	0,09	35	0,10	39	0,11	43	0,12	47	0,13
TOTAL		1793	2,63	1972	2,89	2170	3,18	2386	3,50	2625	3,85	2888	4,23	3176	4,66	3494	5,12

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del Observatorio del Agua (2023) y la Dirección de Estadísticas y Censos de la provincia de Mendoza.

DISCUSIÓN Y DEBATE

Campo Espejo y Paramillos:

Actualmente, los efluentes cloacales tratados por ambas plantas contribuyen a incrementar la oferta hídrica superficial de la zona en un 6,50%. Con estos aportes hídricos, son cultivadas alrededor de 3.700 hectáreas. El VAN asciende en el escenario tendencial (hasta 2035, considerando una tasa de descuento del 20%) a USD 25,70 millones. La cantidad de agua no convencional que se generaría bajo los supuestos de este escenario, ascendería a 103 hm³ por año. Bajo los supuestos de un escenario prospectivo, caracterizado por una adecuada gestión de los efluentes cloacales de los habitantes de la zona e irrigando una mayor superficie, los resultados positivos derivados de una adecuada gestión de efluentes podrían incrementarse para 2035. El crecimiento de la población del AMM, la generalización progresiva de las conexiones a la red cloacal y el incremento de la superficie cultivada en los ACREs, denotarían un VAN de USD 100,91 millones (hasta 2035, con una tasa de descuento del 20%). Las aguas no convencionales incrementarían la oferta hídrica derivada de aguas no convencionales y alcanzarían los 134 hm³ por año, incrementando la oferta de agua superficial en alrededor del 8,50%

Cuenca del río Mendoza:

Más allá de los resultados obtenidos y de los beneficios derivados de la expansión de la oferta de agua potencial del 8%, es necesario abrir el debate y la discusión hacia los fuertes desafíos futuros que enfrentará la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del AMM (cuenca Norte). En efecto, más allá de efectuar una adecuada y necesaria ECA en el tratamiento y disposición final de los efluentes cloacales, este nuevo paradigma económico debe generalizarse hacia los demás usos del recurso. Tal es así ya que:

- La otra oferta de agua del AMM es, principalmente, la derivada de los caudales de los ríos de la cuenca Norte de Mendoza. Actualmente, el caudal proveniente del río Mendoza y parte del río Tunuyán Inferior, aportan en promedio, 2.850 hm³ por año (Marco Estratégico para la provincia de Mendoza, UNCuyo, 2005). Sin embargo, según los Modelos de Circulación General de la Atmósfera, el caudal de estos ríos se vería disminuido en un 15% a 25%, en comparación con sus promedios históricos como consecuencia de los efectos derivados del cambio climático. Asumiendo que la merma del caudal sería cercana al 20%, la cantidad de agua superficial disponible para todos los usos de la cuenca, se reduciría a 2.120 hm³ al año para 2035.
- El sistema hídrico subterráneo cuenta con un volumen medio anual, posible de extraer en función de la infraestructura vigente de 800 hm³ por año. Si bien cuenta con una recarga anual del orden de los 450 hm³, los niveles de salinidad en varios sitios superan los 4000 µS/cm (siendo el máximo recomendable para consumo humano cercano a los 1.600 µS/cm, mientras para la producción agrícola este valor máximo se ubica en 2.500 µS/cm (Marco Estratégico para la provincia de Mendoza, 2010) Lo anterior implica que, la utilización de agua subterránea para consumo humano en la cuenca Norte es, prácticamente, nulo (existiendo algunas excepciones)
- La demanda de agua para uso agrícola es actualmente, según la fuente anteriormente citada, de 2439 hm³ anuales, la de uso doméstico de 288 hm³ anuales y la de uso industrial de 103 hm³ por año, la demanda total en la cuenca asciende a 2.830 hm³.

Costos de la inacción:

Desde los resultados obtenidos bajo los supuestos de los escenarios planteados, puede estimarse el costo derivado de la no implementación de medidas que conduzcan a mejorar la eficiencia operativa de las Plantas de Tratamiento Campo Espejo y Paramillos y la optimización del riego en los ACREs de cada una. Así, la diferencia entre el Valor Actual de los Beneficios obtenidos para el Escenario Potencial y el calculado para el Escenario Tendencial denota una cifra de USD 75,2 millones. La misma, tal como se comentó, representaría el costo de la no implementación de acciones adecuadas, representando los ingresos de la producción agrícola dejados de percibir durante un horizonte temporal de 10 años (descontados a una tasa del 20%).

Ampliando el análisis para toda la cuenca del río Mendoza, comparando la oferta de agua y los

requerimientos demandados por los usos agrícola, doméstico e industrial, el saldo promedio de las últimas dos décadas resulta superavitario en sólo 20 hm³ anuales. El mismo análisis, pero contrastando la oferta y los requerimientos estimados para 2035, arrojan un déficit hídrico que alcanzaría los 710 hm³ anuales.

El desafío que se presentará en un futuro no muy lejano, consiste en desarrollar metodologías de riego agrícola, consumo poblacional, reúso de efluentes y consumo industrial, sumamente eficientes. No bastaría sólo con el tratamiento y reúso del agua potable. La cantidad de agua consumida en el AMM es de 476 litros por habitante por día (AySaM, 2023) Actualmente, la población de esa zona provista del servicio por parte de esta empresa, asciende a 975.000 personas (DEIE, 2023) De estos datos, se desprende que la cantidad de agua potable consumida anualmente es de 260 hm³. Asumiendo con optimismo que el 75% de esta cantidad es vertida en la red colectora cloacal e íntegramente tratada y reutilizada, la oferta potencial cubriría solamente el 20% del déficit total esperado para 2035.

Por los resultados anteriores, la gestión del agua debe estar orientada hacia la aplicación generalizada de los postulados de la ECA en todos los sectores y usos del recurso. Sin embargo, el eslabón clave resulta ser el sector agrícola, ya que demanda 2439 hm³ anuales para irrigar una superficie de 156.564 hectáreas en toda la cuenca norte de Mendoza (INDEC 2021. Censo Nacional Agropecuario, 2018). Esto implica que se requieren por hectárea cultivada 1,55 m³ por año. Esta cifra equivale, aproximadamente, al consumo de un individuo durante más de dos años (Organización de las Naciones Unidas, 2017).

Para 2035, la ECA aplicada al sector agrícola debería ser capaz de reducir el consumo de agua, al menos en 200 hm³ por año. De no ser factible tal ajuste en la demanda, el costo en términos de potencial productivo del total de la cuenca ascendería al valor de la producción equivalente al de 45 mil hectáreas (las cuales se verían imposibilitadas de ser irrigadas bajo los actuales paradigmas de riego y reutilización del agua en esa actividad)

CONCLUSIONES

La reutilización de efluentes industriales y cloacales en la actividad agrícola ha mostrado en experiencias provinciales, nacionales e internacionales, ser una alternativa válida para el incremento de la oferta disponible de agua. Esto conduce a la maximización de beneficios ambientales, productivos, económicos y sociales.

Beneficios de la implementación de sistemas de reúso agrícola: posibilita conservar las fuentes primarias de agua, e incrementar su disponibilidad; disminuyen en general, los costos de tratamiento, control, y cargas financieras asociadas, incorpora nutrientes al suelo, lo que no solo disminuye los costos agrícolas, sino que también elimina la necesidad de pesticidas y reduce los impactos negativos en el ambiente; disminuye el nivel de conflictividad.

En lo referente a la rentabilidad económica del sector agrícola, más allá de la disminución de costos en fertilizantes y beneficios de mejoras en los rendimientos por hectárea, la ECA posibilita la incorporación de tierras al área productiva de una cuenca.

Para el caso del AMM la adopción de adecuadas acciones y mejoras en los sistemas de tratamiento y reúso implicarían un incremento en los beneficios del sector equivalente a USD 75,2 millones durante los próximos diez años. Esta cifra se alcanzaría si: (i) la población urbana para 2035 se incrementa en 300.000 habitantes (asumiendo que las tasas de crecimiento poblacional se mantendrían en los niveles promedios de los últimos años y se incorporarían al sistema nuevas áreas urbanas aledañas a las actuales), (ii) se produce la incorporación progresiva de la totalidad de viviendas a la red cloacal, (iii) existen mejoras en la infraestructura de las plantas, y (iv) se dota de riego a todas las áreas empadronadas, ampliando la superficie cultivada en los ACRE en 2000 hectáreas adicionales (asumiendo que se alcanza a irrigar la totalidad de hectáreas empadronadas en ambos ACREs).

Además, las progresivas mejoras en el sistema posibilitarían tratar conjuntamente, 4,55 m³/s de efluentes totales. Las aguas no convencionales incrementarían la oferta hídrica en alrededor del 8%. El incremento de agua superficial en la cuenca posibilitaría la incorporación de alrededor de 200 hm³/año al sistema hídrico del área de estudio. El marcado estrés hídrico de la región en buena parte se vería menguado en virtud del uso de aguas no convencionales. El valor de la producción de los ACREs (asumiendo que se mantienen los precios y proporciones de los cultivos) se incrementa desde USD 5,45 millones a USD 14,12 millones anuales (desde 2025 a 2035, de manera progresiva en cada año)

PROPUESTA DE ESTRATEGIAS Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA

1. Invertir en sistemas más eficientes para el tratamiento de efluentes, explorando y adoptando tecnologías innovadoras que mejoren la calidad del agua reutilizada, reduzcan la carga contaminante, minimicen el impacto negativo en los ecosistemas y maximicen el valor del recurso hídrico.
2. Diseñar sistemas de reutilización de efluentes que permitan la infiltración controlada del agua tratada hacia acuíferos subterráneos, ayudando a su recarga.
3. Establecer sistemas de monitoreo que permitan una supervisión continua de la calidad del agua reutilizada, facilitando la detección temprana de problemas y garantizando la seguridad integral del proceso.
4. Establecer planes, políticas y programas que incentiven a las industrias a reutilizar sus efluentes internos y disminuir su Huella Hídrica.
5. Invertir en investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia de los procesos de tratamiento de efluentes, así como para explorar nuevas formas de reutilización que maximicen el valor del recurso hídrico.
6. Destinar recursos a proyectos de restauración de humedales y áreas ribereñas utilizando efluentes tratados, contribuyendo a mejorar la calidad del agua, promoviendo la biodiversidad y aumentando la resiliencia de los ecosistemas.
7. Fomentar el uso de efluentes tratados en la agricultura como una alternativa a los fertilizantes químicos, lo que reduce la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, así como la dependencia de recursos no renovables.
8. Desarrollar programas de educación y concientización dirigidos a usuarios y comunidades para fomentar prácticas de uso responsable del agua y destacar los beneficios del reúso de efluentes en términos de sostenibilidad y seguridad hídrica.
9. Crear marcos regulatorios que promuevan el reúso seguro y sostenible de efluentes, estableciendo adecuados estándares de calidad del agua y ofreciendo incentivos para la adopción de prácticas de reutilización.
10. Facilitar la articulación entre el sector público, privado y la sociedad civil para desarrollar proyectos de reúso de efluentes que sean económicamente viables y socialmente aceptables.
11. Incorporar el agua no convencional como una componente clave de una adecuada Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas –ADERASA– (2010). Grupo Regional de Trabajo de Benchmarking (GRTB). Informe Anual 2010.
- Agua y Saneamiento Mendoza AySaM (2023) <https://avsam.com.ar/agua-potable/>
- Boer, J. (2015). Sustainable development fight will be won or lost in our cities. New York: United Nations. Recuperado de <http://cpr.unu.edu/the-sustainable-development-fight-will-be-won-or-lost-in-our-cities.html>
- Buccheri M., Comellas, E. y otros (2020) Proyección demográfica a distintos horizontes temporales para la provincia de Mendoza. Proyecto INA-SCRA, 2020.
- Comellas, E. (2014). Sistemas tarifarios alternativos para el cobro del agua potable. (Tesis de Maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, inédita). Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Cuyo.
- Comellas, E. (2015). Consideraciones para el diseño tarifario en el cobro del agua potable. XXV Congreso Nacional del Agua, Tomo I, Pag. 333-345.
- Cosgrove, W. y Rijsberman F. (2000). Making Water Everybody's Business. World Water Council (p. 7-15)
- Departamento General de Irrigación. Pronóstico de Caudales de los Ríos de Mendoza. En: <https://www.irrigacion.gov.ar/web/boletin/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censo Nacional Agropecuario 2018: resultados definitivos / 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC, 2021.
- Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE, 2023) Mendoza. Disponible en <https://deie.mendoza.gov.ar/#/>
- Domar, E. (1946). Capital Expansion, Rate of Growth and Employment. *Econometrika*, 14 (2), 137-147. Published by: The Econometric Society. Article Stable en <http://www.jstor.org/stable/1905364>.
- Ellen MacArthur Foundation (2014). Towards the Circular Economy, Vol. 1. Economic and business rationale for an accelerated transition. En <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Gudiño, M. E., Ghilardi, M. y Dalla Torre, J. (2017). Las particularidades de las fronteras urbano-rural en el ordenamiento territorial" (2017) en V Workshop Internacional de Ordenamiento Territorial y Ambiente.
- Harrod, R. (1939). An Essay in Dynamic Theory. *The Economic Journal*, 49 (193), pp. 14-33. Published by: Wiley on behalf of the Royal Economic Society. Fecha de consulta: 02 de Julio de 2013. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/2225181>.
- Leiva, J.C. y otros (2006). Los glaciares argentinos y el clima de los siglos XX y XXI. Informe Nacional presentado a la Asociación Internacional de Hidrología Científica. XXIV Asamblea General de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, Italia.
- Llop, A. (2000). Demanda y Tarifas en el Sector Agua Potable y Saneamiento. En Regulación de los Servicios de Agua y Saneamiento, Fundación Prebisch, Universidad Nacional de San Martín.
- Meadows, D. y Meadows D., (1972). The Limits to Growth: A Report to Rome Club. En <http://www.clubofrome.org/docs/limits.rtf>. Búsqueda realizada el 12 de Agosto de 2013.
- Malthus, T. R. (1798). Ensayo sobre el principio de la población. Londres: J. Johnson.
- Melnick, S., (1980). Principales escuelas, tendencias y corrientes de pensamiento. Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina, 21 (1), 236-287.
- Observatorio del Agua, provincia de Mendoza. Disponible en: <https://www.observatorioaguamza.com/es>
- Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo de América Latina y el Caribe. 2016 <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/marcos-regulatorios/politica-nacional-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-de-argentina>
- Organización de las Naciones Unidas –ONU– (2017). World Economic and Social Survey 2017: Development in an Ageing World. New York, NY: Organización de las Naciones Unidas.
- Pruitt B. y Waddell S. (2015) Dialogic approaches to global challenges: Moving from “dialogue fatigue” to dialogic change processes, documento de trabajo del Generative Dialogue Project. GDP, 2015. Disponible en www.generativedialogue.org/resources
- Psathakis, Jimena (2010) Aproximación al Ordenamiento Ambiental del Territorio como herramienta para la prevención y transformación de conflictos socio-ambientales - Volumen 1; Buenos Aires; Fundación Cambio Democrático, 2010.
- Spangenberg, J. H. (2017). Towards social and ecological transitions: Circular economy experiences, conclusions and beyond. 3. GRF Conference: University of Sussex. <https://doi.org/10.1111/i.1466-8238.2010.00620.x>
- Universidad Nacional de Cuyo (2003). Diagnóstico físico-ambiental para el Marco Estratégico de la Provincia de Mendoza. Argentina: Editorial Universidad Nacional de Cuyo.
- Villalba R. Y Boninsegna, J. (2010). La oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan en escenarios de Cambio Climático. En Plan Estratégico para Mendoza 2030: Los escenarios de Cambio Climático y el impacto en los caudales.

World Health Organization (2003). Domestic Water Quantity. Service Level and Health, Guy Howard, Water Engineering and Development Centre, Universidad de Loughborough, Reino Unido, y Jamie Bartram. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/globalassess/en . Fecha de consulta: 17 de junio de 2023.