

# Tendencia del consumo de agua potable y eficiencia en la inversión en infraestructura de agua y saneamiento

Estudio de caso en América Latina

Tania Paez Rubio  
Juan Alberti  
Nicolas Rezzano Tizze

División de Agua y Saneamiento

NOTA TÉCNICA N°  
IDB-TN-02085

# Tendencia del consumo de agua potable y eficiencia en la inversión en infraestructura de agua y saneamiento

## Estudio de caso en América Latina

Tania Paez Rubio

Juan Alberti

Nicolas Rezzano Tizze

Diciembre 2020

Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo  
Paez Rubio, Tania.

Tendencia del consumo de agua potable y eficiencia en la inversión en infraestructura  
de agua y saneamiento: estudio de caso en América Latina / Tania Paez Rubio, Juan  
Alberti, Nicolás Rezzano Tizze.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2085)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Water consumption-Latin America. 2. Waterworks-Latin America-Finance. 3. Water-  
supply-Latin America-Finance. 4. Sanitation-Latin America-Finance. I. Alberti, Juan.  
II. Rezzano Tizze, Nicolás. III. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y  
Saneamiento. IV. Título. V. Serie.

IDB-TN-2085

Códigos JEL:H54, Q25, Q38.

Palabras clave: Infraestructura, agua, saneamiento, eficiencia, dotación.

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2020 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.





**BID**

Banco Interamericano  
de Desarrollo

# TENDENCIA DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE Y EFICIENCIA EN LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA DE AGUA Y SANEAMIENTO: ESTUDIO DE CASO EN AMÉRICA LATINA

*Autores:*

*Tania Paez Rubio*

*Juan Alberti*

*Nicolas Rezzano Tizze*





# 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo sugiere que es necesario considerar una posible tendencia a la baja en el consumo de agua per cápita en países de América Latina y el Caribe, en el diseño e implementación de proyectos de infraestructura de agua y saneamiento. Esto permitiría incrementar la eficiencia al reducir los costos de inversión de los proyectos. Para defender este argumento, se resume, en primer lugar, la literatura existente al respecto y se presenta un *proxy* de la evolución del consumo de agua per cápita en una ciudad de la región, en donde se ilustra el descenso del consumo mencionado en los últimos 20 años. En segundo lugar, se demuestra que en dicha ciudad el diseño de la infraestructura no contempló esta tendencia, y se realizó una inversión ineficiente. Con base en la memoria de cálculo de un proyecto de infraestructura de agua potable, se demuestra lo anterior al analizar cuál hubiera sido el diseño en el caso de considerar la tendencia del descenso del consumo doméstico, y al estimar la potencial reducción en los costos de inversión, operación y mantenimiento de la infraestructura resultante. El hecho de que este trabajo muestre esta ineficiencia para un caso en América Latina no permite hacer una generalización del fenómeno para la región. Sin embargo, sí prende una luz amarilla de preocupación, en un contexto de recursos limitados para invertir en distintos objetivos de política, todos ellos potencialmente relevantes.



## 2. MARCO TEÓRICO

Existe evidencia que en diferentes ciudades del mundo hay una tendencia a la baja en el consumo doméstico de agua potable. América Latina no es la excepción, y algunos países y ciudades han mostrado también una tendencia a la baja en los últimos 20 años. En este escenario, surge la interrogante sobre si estas tendencias han sido acompañadas por una debida revisión de la dotación (caudales) de diseño para la infraestructura de los servicios de agua y saneamiento en la región, ya que los parámetros de diseño tienen un impacto directo en el tamaño de la infraestructura.

El patrón de consumo influye en la vida útil de la infraestructura existente y debería hacerlo en el dimensionamiento de la nueva. De no tener en cuenta estos cambios, existe un riesgo de sobredimensionamiento de la infraestructura, para atender patrones de consumo no reales de agua y/o caudales a ser tratados, con el consiguiente riesgo de adelantar inversiones en el tiempo innecesariamente y/o tener problemas en la operación de los sistemas. En cualquier escenario, y en un contexto de recursos públicos limitados y otras necesidades a ser atendidas, esta práctica puede resultar en una falta de optimización de los recursos.

En varias regiones de Europa, en las últimas décadas, el consumo per cápita de agua potable ha disminuido. En Alicante, España, se registró una reducción del 20 % en el consumo doméstico de agua entre el año 2000 y el año 2013 (Albiol & Agulló, 2014). En Holanda, de acuerdo con datos de la asociación de las 10 empresas encargadas del servicio de agua potable del país, el consumo per cápita cayó más del 10 % entre 1990 y 2006 (Vewin, 2008). En Bruselas, entre los años 2005-2012, se ha registrado una caída del consumo doméstico de cerca de un 30 %.

Estos países han analizado cuáles son las razones que explican estas tendencias. Recurrentemente los determinantes que explican este fenómeno son: menor crecimiento demográfico, implantación de dispositivos y electrodomésticos de ahorro, menos ocupación de viviendas, campañas de racionalización del uso de agua, reutilización del agua, aumento de las tarifas y otros mecanismos de política impositiva al consumo. Otros países europeos, como Dinamarca y Estonia (European Environment Agency, 2007), muestran comportamientos similares, y un análisis entre el consumo doméstico de agua y el precio muestra que el aumento del segundo ha sido particularmente relevante para la disminución efectivamente observada del consumo.

En el caso de América Latina, aparecen estudios que muestran un comportamiento similar, especialmente en Chile y Perú. De acuerdo con Lentini (2015), con base en datos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile y la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento de Perú, el consumo de agua por cliente de Santiago de Chile y el consumo de agua por habitante en Lima han caído considerablemente (un 32 % y 45 % respectivamente) en el período 1996-2013.

En este contexto, un problema que surge, y que es presentado en este documento, es que la dotación de consumo de agua, parámetro utilizado para el diseño de la infraestructura, no se actualiza de forma periódica. Así, se corre el riesgo de un sobredimensionamiento de la infraestructura de los servicios de agua y alcantarillado.

Al respecto, el fenómeno del sobredimensionamiento de infraestructura de agua y alcantarillado y sus consecuencias es un problema que ha sido analizado por la literatura especializada. Bogdanowicz et al. (2001), en una discusión sobre el mejor modelo para la gestión de la calidad de agua, sugerían que la disminución del consumo llevaba a problemas ambientales, técnicos y económicos. Con un estudio de caso en Gdanask, Polonia, argumentaron que uno de los aspectos positivos de dicha disminución era la oportunidad para una mayor racionalización en el proceso de toma de decisiones.

Vitaliano (2005) realizó un análisis sobre 75 sistemas municipales de agua de Estados Unidos para determinar si empleaban una gestión socialmente eficiente en el largo plazo. El autor identificó una inadecuada asignación de recursos y sugirió un sistema de evaluación de proyectos más riguroso y uniforme, a fin con el objetivo de que el retorno marginal de la inversión en agua se aproxime al costo social del capital.

Kandulu (2013) sugería, por otra parte, que independientemente de que la demanda cayera o creciera, existe un evidente riesgo de sobredimensionamiento de la infraestructura de agua desde la etapa de planificación, que debe ser correctamente contemplado. Al respecto, Matrosov et al. (2013) refieren dos grandes desafíos al planificar la oferta de agua, y para desarrollar la gestión eficiente del sistema. El primero es que existen muchas opciones y enfoques (infraestructura, gestión de oferta versus demanda, instituciones, políticas públicas, etc.), con distintas combinaciones y formas de implementación. El segundo es que el futuro es incierto, que depende de algunas variables sobre las que se puede estimar una distribución de probabilidad y de otras que no. Los métodos tradicionales que mencionan, en este marco, son los métodos basados en simulación estocástica, y aquellos métodos basados en la optimización.

Zimoch & Szymik-Gralewska (2015, 2016), directamente sugieren que los actuales sistemas municipales de abastecimiento de agua tienen una infraestructura sobredimensionada, con sistemas caracterizados por un exceso de capacidad significativo en relación con la demanda real de agua. Refieren que esto es el resultado directo de una reducción significativa de la demanda. También, sugieren que es necesario adoptar un análisis de costo de ciclo de vida para generar eficiencias en la operación, considerando los costos de inversión incurridos a lo largo del ciclo de vida, en las distintas etapas en el uso de las instalaciones, y teniendo en cuenta los costos de mano de obra durante su vida útil.

La literatura en general muestra que la información es clave para mejorar el proceso de toma de decisiones en la inversión y operación de infraestructura de agua, en distintas regiones. En este contexto, no parece razonable asumir que América Latina sea la excepción.

En el caso específico de los parámetros utilizados para diseñar las infraestructuras, este documento defiende que la falta de actualización de los mismos para atender las tendencias de consumo puede llevar al sobredimensionamiento. Por ende, los países de la región deben trabajar en mejorar la disponibilidad de información y en las metodologías de evaluación de proyectos. Ambos puntos son claves para apuntar a la mayor eficiencia en el uso de recursos.



# 3. METODOLOGÍA - ESTUDIO DE CASO

En el presente trabajo se utilizó el estudio de caso como metodología de investigación. Este tipo de estudio muestra las siguientes ventajas al respecto de métodos estadísticos y econométricos: profundidad en el análisis; alta validación conceptual; entendimiento sobre el rol de contextos y procesos; entendimiento profundo sobre qué causa un fenómeno, vinculando causas y resultados; e incentiva la búsqueda de nuevas hipótesis y preguntas de investigación. Así mismo, existen desventajas que deben considerarse: el sesgo de selección puede profundizar o reducir relaciones; debilidad en el entendimiento sobre la ocurrencia del fenómeno estudiado en la población total; y que la significancia estadística no suele ser conocida o puede ser poco clara (Flyvbjerg, 2011).

Sin embargo, un error típico en el que se incurre al valorar esta metodología, según Flyvbjerg (2006; 2011), es creer que no se puede generalizar de un caso y por eso no contribuye al desarrollo científico. Por el contrario, se puede frecuentemente generalizar sobre la base de un único caso, y este puede ser fundamental para el desarrollo científico a través de la generalización como suplemento o alternativa a otros métodos.

Yin (2014) específicamente sugiere que un caso, más que una muestra de una determinada población debe considerarse como una oportunidad para arrojar luz sobre determinados principios. Esto es especialmente útil y se puede generalizar del mismo cuando el caso contrasta a una determinada generalización preexistente. En esta oportunidad, al corroborar ineficiencia en la inversión de infraestructura en un caso, se hace evidente y generalizable que existen contextos donde hay lugar para lograr mayores eficiencias. Al menos se hace evidente que no siempre se invierte de forma eficiente en el sector analizado. En este sentido, de acuerdo a Yin (2014), el diseño de la investigación cobra especial importancia. Particularmente, el diseño de un estudio de caso implica la especificación de cinco componentes: preguntas, proposiciones, unidad de análisis, lógica para relacionar datos y proposiciones, y, finalmente, criterios para interpretar resultados.

En este estudio, se busca responder a las siguientes preguntas:

- *¿Existe una tendencia con pendiente negativa en el consumo doméstico de agua potable en las ciudades seleccionadas?*
- *¿Cuál es el costo efectivo de no considerar la tendencia de consumo en el diseño de infraestructura, y qué variables asociadas al diseño deben ajustarse?*

En este documento se extraen conclusiones al respecto de un caso, considerando que representa un fenómeno contemporáneo que se enmarca en un contexto específico (la ciudad en el que se desarrolla), y que no se puede separar de dicho contexto. Las proposiciones se extraen de la literatura analizada y, lógicamente, son distintas para cada una de las preguntas anteriores.

Para la primera, la proposición es que sí existe una tendencia negativa en la ciudad estudiada. Para la segunda, la proposición es que existen ineficiencias que surgen de la falta de consideración de dichas tendencias en el proceso de actualización de los criterios de diseño.

La lógica para relacionar datos y proposiciones depende, nuevamente, de cada una de las preguntas anteriores. Para la primera pregunta, se utilizan métodos empiristas de extracción de señales, por su probada simplicidad y efectividad. La lógica es que la información proporcionada por las observaciones de una variable cualquiera estudiada, en este caso el agua doméstica consumida per cápita, se encuentra contaminada y las “señales” de interés deben ser filtradas.

Una serie temporal puede admitir una descomposición aditiva de la siguiente forma:

$$X_t = T_t + C_t + S_t + I_t$$

Los componentes anteriores a simple vista no siempre son claramente observables.  $T_t$  hace alusión al componente de tendencia, que recoge una evolución subyacente de  $X_t$  y representa la señal más firme y suave de una serie temporal.  $S_t$ , en segundo lugar, es el componente estacional, que hace alusión a oscilaciones sistemáticas cuasi regulares de la serie dentro de un año. El componente  $C_t$  es el componente cíclico, que aglomera desviaciones sistemáticas respecto a la tendencia que son diferentes a la estacionalidad. Finalmente, el  $I_t$  es el componente irregular, que tiene que ver con el ruido residual que puede presentar cualquier serie temporal.

Los métodos empiristas utilizados en este caso fueron el procedimiento de desestacionalización de la serie X-12 ARIMA (Matea & Regil, 1994; MEFP, 2011) y el filtro Hodrick-Prescott (Hodrick & Prescott, 1997; Li & Huicheng, 2010) para estimar la tendencia. Más información al respecto de la metodología puede encontrarse en el anexo 1.

En el diseño de infraestructura, así como en la auditoría de diseños, generalmente se utiliza bibliografía clásica de ingeniería, a partir de la cual, con base en las determinaciones de los datos de entrada (caudal y calidad de aguas a potabilizar, almacenar, conducir, tratar o disponer), y la tecnología elegida, es posible determinar las dimensiones de las distintas estructuras sanitarias (Arboleda, 2000).

Así, para la segunda pregunta, la lógica para relacionar datos y proposiciones consistió en los siguientes pasos:

1. *Determinar el valor real de consumo actual y tendencia histórica de consumo doméstico.* Con base en la información suministrada por el prestador del servicio de agua potable (producción de agua potable, volumen de agua facturada, volumen de agua facturada en hogares, población abastecida, cantidad de usuarios, cantidad de usuarios domésticos) se determinó la evolución del consumo doméstico por *usuario*, y aplicando la metodología presentada anteriormente se determinó la tendencia histórica.
2. *Diseñar escenarios futuros.* Utilizando las proyecciones de población y manteniendo fijos los consumos no domésticos, se diseñaron dos escenarios futuros posibles de forma discrecional. Un escenario, llamado Modelo 1, asume que la tendencia estimada en el paso anterior comienza a disminuir paulatinamente hasta llegar a una pendiente de cero. En dicho modelo, desde el último valor de la tendencia estimada (2016) en adelante, en cada

año la pendiente disminuye 25 % y se genera un comportamiento asintótico de esta señal, razonable por considerar que los hogares no disminuirán su consumo para siempre. El segundo escenario, llamado Modelo 2, asume que la tendencia negativa deja de existir en el último año estimado. Se utiliza debido a que es el escenario más restrictivo para analizar lo que se pretende probar en este documento.

3. *Calcular la diferencia en los diseños de la infraestructura actual y los dos escenarios diseñados.* Con base en la memoria de cálculo de la infraestructura se determinan nuevos diseños en función de los escenarios elaborados. Las principales modificaciones incluyen la disminución en los tamaños de unidades de tratamiento.
4. *Determinar la diferencia en los costos de inversión, operación y mantenimiento del caso de estudio.* Con base en los diseños optimizados obtenidos, y utilizando las memorias de costos de infraestructura, se determinaron los costos de inversión, operación y mantenimiento en cada escenario. En el caso de los costos de inversión, solo se modificaron los costos asociados a las modificaciones de diseño, dejando inalterados costos como adquisición de la tierra, instalaciones eléctricas, entre otros.

# 4. RESULTADOS

## 4.1. EXTRACCIÓN DE SEÑALES

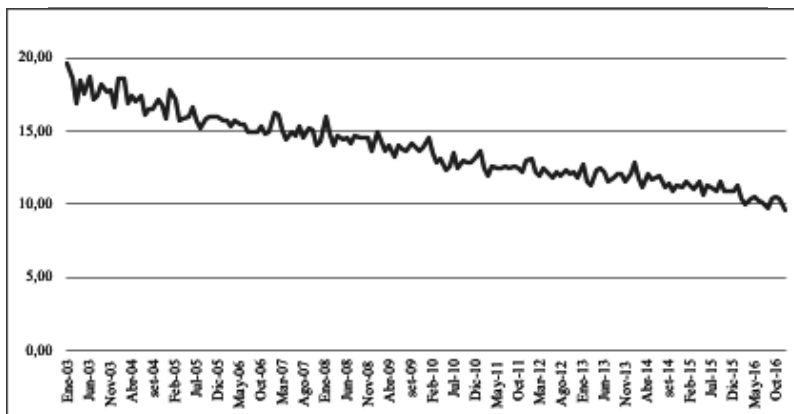
El caso seleccionado en este documento está referido a una ciudad de América Latina y el Caribe, que no se nombra porque fue solicitado que la información fuera tratada con confidencialidad. Corresponde a una ciudad de Colombia. Para ella se realizó un trabajo de recopilación de información y un análisis descriptivo de variables de interés que pueden asociarse o aproximarse al consumo de agua per cápita de los hogares. Luego se verificó la información específicamente disponible y comparable.

La variable de interés de este estudio es el consumo de agua per cápita, pero las empresas de agua no suelen contar con una estimación de consumo, solo de facturación. Ello implica un sesgo potencial del cálculo asociado a la existencia de usuarios del sistema que consumen, pero no están registrados. Asimismo, tampoco suele ser posible contar con datos relacionados al índice de agua no contabilizada, o pérdidas físicas y comerciales.

En este marco, se consideró que el indicador más ajustado para acercar el análisis a la serie de interés es la evaluación de la evolución de la ratio de agua facturada de uso doméstico y la cantidad de usuarios. De acuerdo con lo ya explicitado, utilizar la evolución de la población *subdimensionaria* la potencial caída del consumo, considerando que dicha variable aumenta con una pendiente menor a la cantidad de usuarios.

La siguiente gráfica presenta la evolución del indicador mencionado en el caso seleccionado:

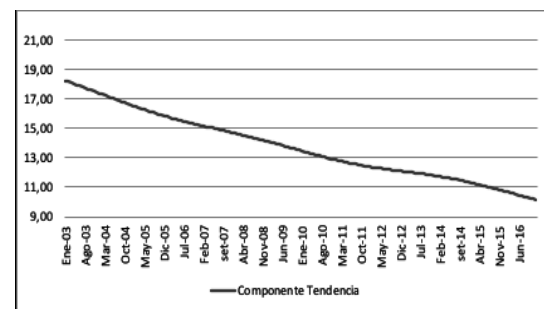
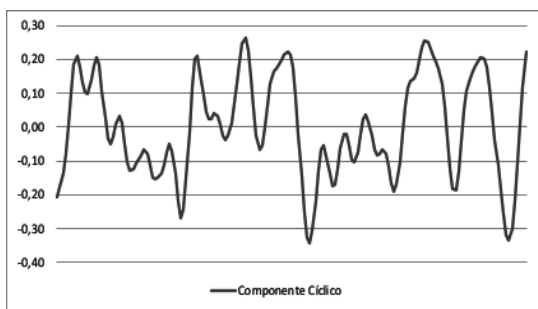
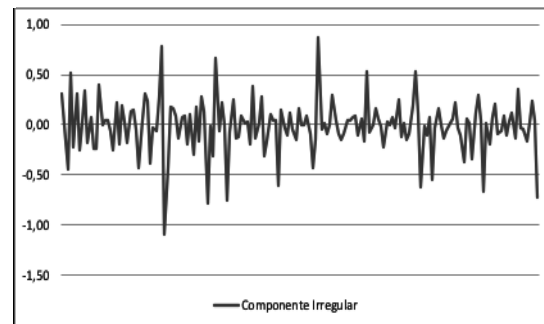
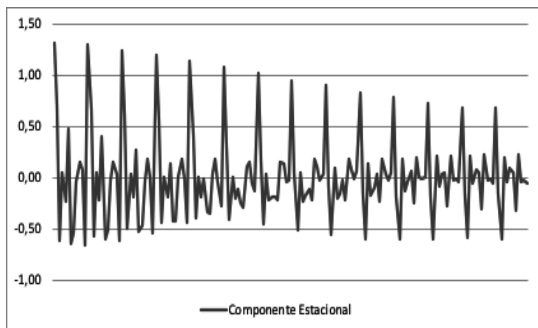
Ratio agua facturada por uso doméstico / cantidad de usuarios



Un análisis descriptivo de la variable anterior es útil para valorar comportamientos evidentes. Sin embargo, las señales detrás de la serie estudiada pueden no ser claras, y para ello es posible aplicar metodologías de extracción mencionadas.

Así, al aplicar la metodología especificada al respecto, las siguientes son las gráficas que representan los distintos componentes de la serie:

## COMPONENTES DE LA SERIE



El último de los gráficos confirma lo que se observa en el gráfico de la serie inicial, la tendencia es claramente decreciente. A través de la extracción de señales se estaría confirmando una disminución del agua facturada por usuario registrado. Este es un buen *proxy* para mostrar la disminución de consumo per cápita, ya que la disminución mensual promedio (0,35 %) es mayor a la disminución mensual promedio de las personas por hogar (0,12 %), en el mismo período estudiado.

## 4.2. EFICIENCIA EN LA INVERSIÓN

En la ciudad seleccionada se realizó un proyecto de infraestructura reciente, una planta de potabilización. Para desarrollar el análisis estipulado, se compararon los valores de dotación por usuario doméstico de diseño de infraestructura (que coincidió con los valores establecido en la última norma de diseño), con los valores que surgen del análisis presentado en 4.1 en el año que se realizó el diseño. Se diseñan dos escenarios futuros con base en lo mencionado en la sección 3. En la definición del volumen a abastecer por la planta de potabilización en cada modelo, se mantienen

incambiados los consumos no domésticos y el porcentaje de pérdidas y solo se modifica el consumo doméstico.

|          | m <sup>3</sup> /usuario/año fp |
|----------|--------------------------------|
| Diseño   | 175                            |
| Modelo 1 | 105                            |
| Modelo 2 | 125                            |

Tabla 1: Valor de consumo por conexión (m<sup>3</sup>/usuario/año) a fin de período para el diseño, Modelo 1 y Modelo 2

En el gráfico 3 se muestra la proyección de consumo por año en cada uno de los escenarios: diseño, Modelo 1 y Modelo 2. En el gráfico 4 se presenta la evolución de volumen total a abastecer por la planta (incluye consumos no domésticos), en los dos escenarios futuros.

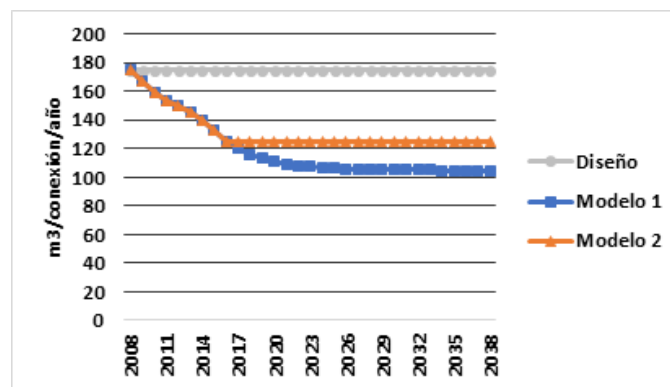


Gráfico 3. Consumo doméstico de diseño, Modelo 1 y Modelo 2 (m<sup>3</sup>/conexión/año)

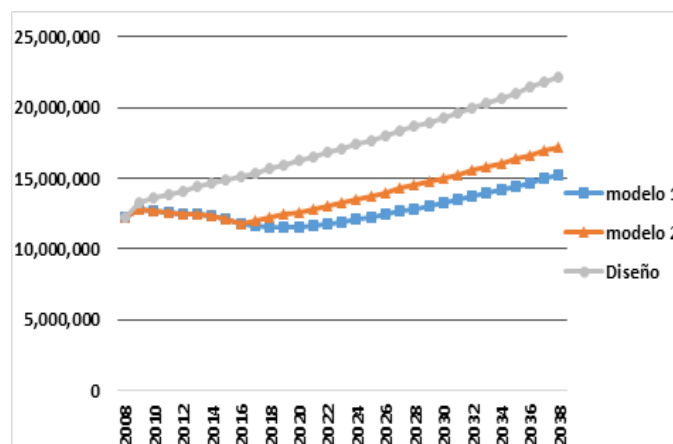


Gráfico 4: Volumen proyectado de demanda total<sup>1</sup> (m<sup>3</sup>/año)

1 El Volumen de agua total distribuido en un sistema de distribución, incluye los distintos tipos de consumos (doméstico, comercial, industrial) y distintos tipos de pérdidas causadas por fugas de las redes, pérdidas comerciales, etc.

El gráfico 4 muestra que, con base en la proyección del volumen de agua anual demandado, en el diseño se obtiene que en 30 años la demanda anual se incrementa de 12,3 a 22,2 millones de m<sup>3</sup>, desde el inicio al fin de período respectivamente. Por otra parte, al considerar la evolución de la dotación en el Modelo 1 de consumo doméstico, la demanda a fin de período resulta de 15,2 millones de m<sup>3</sup> anuales, y en el Modelo 2 de consumo doméstico esta demanda a fin de período resulta de 17,3 millones de m<sup>3</sup> al año. Con respecto al volumen global, los resultados de ambos modelos pueden ser considerados similares. Esto implica que el incremento del consumo anual en 30 años sería de un 81 % en el diseño, un 24 % en el Modelo 1 y un 41 % en el caso del Modelo 2. Por ende, la planta a diseñar para cubrir la demanda de los próximos 30 años podría ser significativamente de menor escala en el caso de considerar la proyección de caudales del modelo 1 o 2.

Los costos de inversión para el análisis de la planta de potabilización están desglosados en: trabajos preliminares, movimientos de tierra, obras de urbanismo, desagües exteriores de unidades de proceso, estructuras hidráulicas de concreto reforzado, instalaciones complementarias en unidades de proceso y planta de lodos, elementos de hierro fundido y dúctil en unidades de proceso y planta de lodos, edificaciones e instalaciones sanitarias, sistemas de preparación y dosificación de químicos, sistema de lavado de filtros con aire a presión, sistema eléctrico y equipo de laboratorio. Debido a que los costos no se encuentran desglosados como para poder recalcularlos con los nuevos diseños, considerando los valores de consumo de los modelos 1 y 2, se ajustan los costos a nivel de esquema con las modificaciones en las distintas unidades de proceso para los nuevos caudales a servir a fin de período. Se modifican los costos de movimiento de tierras y obras de urbanismo, desagües exteriores de unidades de proceso, estructuras hidráulicas de concreto reforzado, instalaciones complementarias en unidades de proceso y planta de lodos, elementos de hierro fundido y dúctil en unidades de proceso y planta de lodos y sistema de lavado de filtros con aire a presión, en forma proporcional a la modificación de caudales, y se mantienen incambiados los otros rubros de costos.

A los efectos del calcular la modificación de los costos de operación y mantenimiento, debido a que en las memorias descriptivas, de costos y de cálculo, solo se incluyen costos por m<sup>3</sup> de agua tratada, no fue posible realizar un análisis detallado. Los rubros de los costos asociados a las sustancias químicas, energía eléctrica y mantenimiento se modificaron en base a la diferencia de volumen total tratado en planta, mientras que el rubro de personal se mantuvo incambiado por falta de datos.

A partir del análisis de las memorias de costos se obtiene la diferencia de costos entre el diseño y los dos escenarios del modelo (tabla 2):

| Factor modelo / diseño              |          |          |
|-------------------------------------|----------|----------|
|                                     | Modelo 1 | Modelo 2 |
| Caudal doméstico                    | 0,60     | 0,72     |
| Volumen proyectado de demanda total | 0,69     | 0,78     |
| Inversión                           | 0,81     | 0,87     |
| OyM                                 | 0,76     | 0,83     |

Tabla 2: Factores modelo / diseño

# 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

El presente estudio sugiere que es necesario corroborar la posible tendencia a la baja en el consumo de agua per cápita producida por las empresas de agua, e incorporar esta información en el diseño e implementación de proyectos de infraestructura de agua y saneamiento, ya que contar con dicha información permitiría incrementar la eficiencia, al reducir los costos de inversión de los proyectos.

Para la selección del caso de estudio se tuvo un factor limitante muy fuerte que fue la disponibilidad de información de calidad para poder desarrollar el análisis. Luego de realizar el análisis preliminar de ocho casos de América Latina, solo la ciudad seleccionada contaba con información confiable para poder llevar adelante el estudio.

Para el caso seleccionado, en primer lugar, se aplicó la metodología de extracción de señales que permitió mostrar que existe un comportamiento tendencial del ratio entre facturación y cantidad de usuarios, el cual es un buen *proxy* del consumo doméstico, y que este consumo viene disminuyendo en el tiempo. Es decir, la tendencia en el consumo de agua presentó una pendiente negativa. Este fenómeno no debe descartarse en otras ciudades y países de la región. En caso contrario, considerando el desconocimiento sobre el comportamiento de las tendencias en el consumo de agua, dada su correlación directa con los criterios de diseño, se corre el riesgo de sobredimensionamiento de infraestructura de agua y saneamiento (Zimoch & Szymik-Gralewska, 2015, 2016). Este estudio sugiere la necesidad imperiosa de contar con información de calidad al respecto, para contar con parámetros reales al momento de planificar nueva infraestructura para brindar el servicio de agua y alcantarillado.

En segundo lugar, para verificar el efecto de los consumos actuales en los sistemas de agua y saneamiento, se analizó una obra de infraestructura desarrollada, específicamente una planta de potabilización. La simulación realizada en función de los consumos actuales sugiere que se podría haber pospuesto el desarrollo de la infraestructura seleccionada, o que se podría haber desarrollado infraestructura de menor tamaño relativo, y, en consecuencia, de menor inversión, concluyéndose que habría espacio para mejorar la eficiencia en el desarrollo de la infraestructura.

Por otro lado, hay que considerar que la relación entre caudales y costos de inversión no es lineal. En la medida que los caudales de diseño decrecen, los costos de inversión disminuyen a una tasa menor debido a la cantidad de costos fijos asociados a la infraestructura y a costos no proporcionales a los caudales de diseño (por ejemplo, tuberías, volúmenes de hormigón, excavaciones, etc.). Por ende, es necesario contar con información robusta para poder determinar los posibles ahorros en inversión en función de la tendencia en los consumos.

También hay que tener en cuenta que el consumo de agua per cápita es uno de los factores más relevantes para determinar el dimensionamiento de la infraestructura de agua y saneamiento, pero no el único. Pueden existir otros criterios de decisión que pueden ser contrapuestos al de eficiencia y pueden justificar el desarrollo de un mayor tamaño de la infraestructura, como oportunidad política



para el gasto, planes de seguridad de aguas, etc., cuyo análisis no es objetivo de este trabajo.

Sin embargo, el estudio aquí realizado muestra que la falta de información de base, o información desactualizada sobre el comportamiento de los consumos de agua, podría estar causando posibles sobredimensionamientos en la infraestructura. En el sector público de los países de la región de América Latina, muchas veces se tiende a trabajar en escenarios conservadores. Se asume un menor nivel de riesgos, pero implica un nivel de inversiones mayor, que aparte de las ineficiencias mencionadas puede redundar en problemas de funcionamiento por sobredimensionamiento.

El análisis realizado sugiere, además, que no solo es importante contar con la información de las tendencias en el consumo de agua potable, sino que también deben analizarse los determinantes que llevan a estas tendencias, como incremento en la micromedición, ajustes tarifarios, campañas de concientización en el uso racional de los recursos hídricos, variaciones demográficas, eficiencia en los artefactos domiciliarios, entre otras. Esto permitiría ajustar los criterios para el dimensionamiento de las nuevas obras, al considerar la posible evolución de dichas variables. Ni en el caso presentado, ni en los 8 restantes relevados en este proceso de investigación, fue posible realizar un estudio de esa naturaleza, sobre las causas de las tendencias a la baja en el consumo de agua, por falta de información. No obstante, los autores de este trabajo consideran que es el próximo paso natural para profundizar sobre las bases de este fenómeno.

En resumen, en un contexto de recursos limitados para invertir en distintos objetivos de política en la región, este trabajo muestra que puede haber lugar para generar eficiencias en inversiones de agua y saneamiento, de tenerse en cuenta los movimientos de la tendencia en el consumo doméstico de agua. Se espera que este documento motive al estudio detallado de esta temática en los países de América Latina, considerando información actualizada y fehaciente al respecto de los patrones de consumo y sus causas, y que redunde en una optimización de las inversiones en infraestructura de agua y saneamiento en la región.

# 6. BIBLIOGRAFÍA

- Albiol, C. & Agulló, F (2014). La reducción del consumo de agua en España: Causas y tendencias. *Aquae Papers*, 6.
- Arboleda, J. (2000) Teoría y práctica de la purificación del agua
- Bogdanowicz, R., Drwal, J., Maksymiuk, Z., & Osinski, A. (2001). Water quality management in the coastal city in the period of considerable water consumption decrease. *Water Science and Technology*, 44(2-3), 337-342.
- European Environment Agency. (2007). Policies and Measures to Promote Sustainable Water Use.
- Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), 219-245.
- Flyvbjerg, B. (2011). Case Study. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The Sage Handbook of Qualitative Research* (4th Edition, pp. 301-316). Thousands Oaks, CA: Sage.
- Hodrick, R. & Prescott, E. C. 1997 Postwar US business cycles: an empirical investigation. *J. Money Credit Banking*, 29(1), 1-16.
- Huskova, I., Matrosov, E. S., Harou, J. J., Kasprzyk, J. R., & Lambert, C. (2016). Screening robust water infrastructure investments and their trade-offs under global change: A London example. *Global Environmental Change*, 41, 216-227.
- Kandulu, J. (2013). Are we risking too much? Estimating the risk-mitigating benefit of urban water supply augmentation options. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(2), 531-540.
- Lentini, E. (2015). El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina. Desafíos de los operadores de áreas urbanas de más de 300.000 habitantes. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Li, W., & Huicheng, Z. (2010). Urban water demand forecasting based on HP filter and fuzzy neural network. *Journal of Hydroinformatics*, 12(2), 172-184.
- Matea, M. de los L., & Regil, A. V. (1994). *Métodos para la Extracción de Señales y para la Trimestralización - Una Aplicación: Trimestralización del Deflactor del Consumo Privado Nacional* Documento de Trabajo No. 9415. Banco de España - Servicio de Estudios
- Matrosov, E. S., Padula, S., & Harou, J. J. (2013). Selecting Portfolios of Water Supply and Demand Management Strategies Under Uncertainty-Contrasting Economic Optimisation and “Robust Decision Making” Approaches. *Water Resources Management*, 27(4), 1123-1148.

- Matea, M. de los L., & Regil, A. V. (1994). *Métodos para la Extracción de Señales y para la Trimestralización - Una Aplicación: Trimestralización del Deflactor del Consumo Privado Nacional* (No. 9415).
- Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. (2011). *Guía de Procedimientos para Desestacionalizar Series Armonizadas Monetarias y de Crédito en el Mercosur* (1a ed.). Buenos Aires: Ministerio de Economía y Finanzas Públicas.
- Vewin. (2008). Water Supply Statistics 2007. Association of Dutch water Companies.
- Vitaliano, D. F. (2005). Estimation of the return on capital in municipal water systems. *National Tax Journal*, 58(4), 685–696.
- West, C., Kenway, S., Hassall, M., & Yuan, Z. (2019). Integrated Project Risk Management for Residential Recycled-Water Schemes in Australia. *Journal of Management in Engineering*, 35(2), 1–11.
- Zimoch, I., & Szymik-Gralewska, J. (2015). Zastosowanie zintegrowanej metody analizy niezawodnościowo-ekonomicznej w zarządzaniu przewymiarowaną infrastrukturą wodociągową. *Ochrona Srodowiska*, 37(4), 25–30.
- Zimoch, I., & Szymik-Gralewska, J. (2016). Assessment of the reliability-cost efficiency of the pumping subsystems at water treatment plant. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 23(3), 435–445.
- Yin, R. K. (2014). *Case Study Research - Design and Methods* (Fifth Edition). Los Angeles: Sage.

# ANEXO 1 - X-12 ARIMA Y FILTRO HODRICK-PRESCOTT

El método empleado en el paquete Census X-11 es un procedimiento de desestacionalización que proviene del Bureau of the Census, de EE UU, metodología actualizada a X-12 ARIMA. Las medias móviles son la herramienta básica para utilizar el método de desestacionalización X-11. Con ellas es que se estiman los componentes de la serie porque son útiles para eliminar la parte de la serie que no es deseada. Se trata de obtener información de los valores de la serie alrededor de cada momento del tiempo. La media móvil de coeficientes  $\theta$  se define como sigue:

$$M(X_t) = \hat{C}_t = \sum_{i=-p}^{+f} \theta_i X_{t+i}$$

La lógica de la metodología es encontrar un conjunto de coeficientes  $\theta$  ajustado. Así es que se desarrolla un algoritmo simple en 4 etapas: 1) Estimación de la tendencia-ciclo por media móvil; 2) Estimación del componente estacional-irregular; 3) Estimación del componente estacional con media móvil de cada mes; 4) Estimación de la serie corregida de variaciones estacionales (Ladiray & Quenneville 2000-2001). El método X11 utiliza este algoritmo, mejorando de a poco sus estimaciones en base a cambios en las medias móviles. Con este formato iterativo evalúa los componentes de la serie.

Para evitar constatar variaciones sensibles a estimaciones de fechas más recientes es al tiempo de desarrollo del X-11 se comenzó a utilizar modelos ARIMA. Su utilización, además, propendió a una disminución de las revisiones al utilizar valores futuros de la serie propuestos por estos modelos, y aplicando el X-11 a la serie extendida. Así se llegó al X-11 ARIMA, nuevamente actualizado a X-12 ARIMA, cuando se propuso un módulo que permite corregir la serie de efectos no deseados.

El filtro Hodrick-Prescott, por otra parte, (HP) permite estimar el componente tendencia de una serie anual o de periodicidad menor pero depurada de oscilaciones estacionales. Así pues, suele aplicarse a la serie desestacionalizada a partir del X-12 ARIMA explicitado anteriormente. La estimación se realiza a partir de la minimización de la siguiente función de pérdida:

$$\text{Min} \sum [X_t - T_t]^2 + \sum [(T_t - T_{t-1}) - \lambda(T_{t-1} - T_{t-2})]^2$$

El primer término puede leerse como una medida de la bondad de ajuste de  $T_t$  a  $X_t$ , dado que se minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones cíclicas. El segundo indica el grado de suavidad del componente de tendencia estimado  $T_t$ . El parámetro  $\lambda$  controla cuán suave es el componente de tendencia. Con esta herramienta puede extraerse el componente tendencial de la serie con tendencia y ciclo, y obtener el segundo por diferencia.



**BID**

Banco Interamericano  
de Desarrollo

