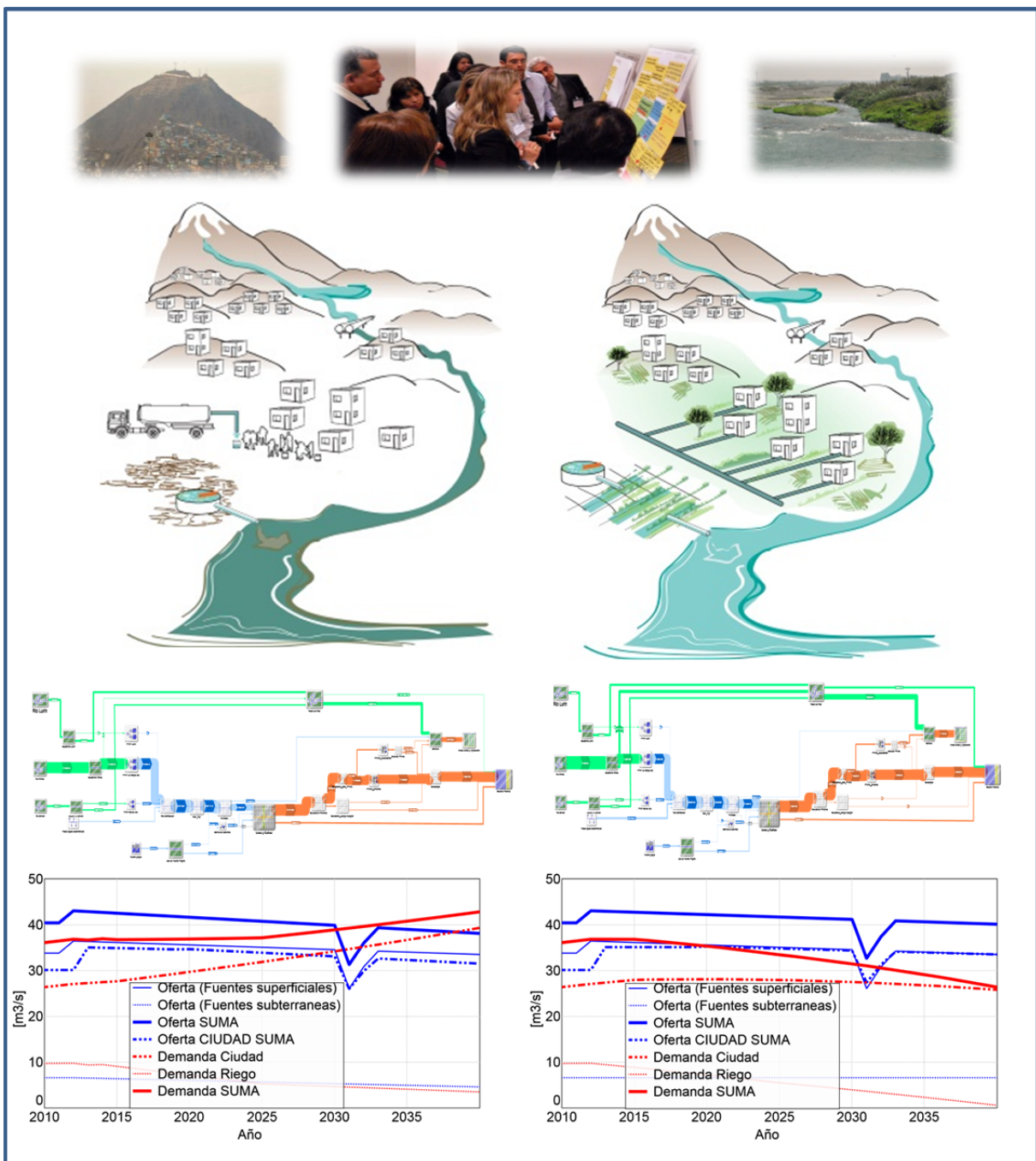


LiWa

Gestión sostenible del agua y las aguas residuales en centros de crecimiento urbano afrontando el cambio climático
-Conceptos para Lima Metropolitana (Perú) -

ESCENARIOS PARA EL FUTURO – LIMA Y CALLAO 2040

Escenarios CIB, storylines & simulación LiWatool



Autores:

Kosow, H.; León, C.; Schütze, M. (2013): Escenarios para el futuro - Lima y Callao 2040. Escenarios CIB, storylines & simulación LiWatool.

Contacto:

Combinación Escenarios & Simulación: ZIRIUS Universidad de Stuttgart, Hannah Kosow, E-Mail: hannah.kosow@zirius.uni-stuttgart.de

Elaboración de Escenarios participativos: ZIRIUS Universidad de Stuttgart, Christian D. León, E-Mail: christian.leon@zirius.uni-stuttgart.de

Simulación & LiWatool: ifak e. V. Magdeburg, Manfred Schütze, E-Mail: manfred.schuetze@ifak.eu

Proyecto LiWa – “Gestión sostenible del agua y las aguas residuales en centros de crecimiento urbano afrontando el cambio climático – Conceptos para Lima Metropolitana (Perú)” (2008-2013) (www.lima-water.de)

Agradecemos a todos los contribuyentes (socios LiWa, instituciones y expertos invitados) que han participado en los talleres de escenarios y mesas redondas del proyecto LiWa.



Versión final 10.05.2013



FOMENTADO POR EL



Ministerio Federal de Educación e Investigación

Contenido

1	Introducción	4
2	Desarrollo y análisis de escenarios integrados	5
	Enfoque	5
	Metodología “CIB y Simulación” (CIB &S)	6
	Análisis de escenarios cualitativos con CIB	7
	Cuantificación	11
	Simulación con LiWatool	11
3	Escenarios “Lima y Callao 2040” en corto	15
4	Escenarios: storylines (guiones) y simulaciones	17
5	Vista general de las simulaciones a través de los escenarios	47
	Siglas	49
	Anexo	50
	Anexo 2: La matriz CIB subyacente a los escenarios (LiWa9.cim)	53
	Anexo 3: Suposiciones y definiciones de los cálculos con LiWatool	54

1 Introducción

¿Cuál será la situación del agua de Lima y Callao en el futuro? ¿Qué factores determinan si la ciudad se enfrentará a la escasez o exceso de agua en el futuro? ¿Cómo afectará esto a la calidad de vida de sus habitantes? ¿Qué puede hacer la ciudad para llegar a ser más resiliente a los efectos del cambio climático? Estas preguntas orientaron la construcción de escenarios participativos relacionados al agua y al cambio climático para la capital del Perú, en el marco del proyecto LiWa.

Si bien los escenarios no establecen antecedentes sobre las probabilidades, sí presentan alternativas y posibles situaciones futuras; para ello, integran diferentes disciplinas y puntos de vista sobre la evaluación de la interdependencia entre los factores de una situación determinada. El trabajo multidisciplinario y multiactoral, en esta ciudad se hizo desde el inicio del proyecto, convocando expertos locales de ciencia, del sector de agua y ONGs. Este proceso fue moderado por el instituto ZIRIUS de la Universidad de Stuttgart.

Los 13 factores más significativos para el desarrollo de la futura situación de agua de Lima y Callao al 2040, fueron identificados, discutidos y especificados en varios talleres con diversos especialistas. En el análisis de interdependencia de factores se aplicó la metodología del Balance de Impactos Cruzados (CIB) y del conjunto de combinaciones consistentes, resultaron cuatro escenarios futuros de mayor importancia. Estas situaciones expresan pesimismo u optimismo, pero ninguna sobresale sobre la otra.

Las hipótesis que fueron convertidas en “storylines” (guiones) y en simulaciones vía el programa de simulación "LiWatool" (desarrollado por el instituto ifak Magdeburg e.V.), tuvieron resultados que fueron evaluados constantemente por especialistas del sector público y privado en diversos eventos en Lima. Esta validación realizada por especialistas externos del proyecto aporta de manera significativa a los resultados del proyecto, como insumos para los planes del desarrollo de Lima y Callao.

Este documento contiene un breve resumen del proceso seguido y una visión general de los 4 escenarios más imaginables, con la simulación y evaluación realizada mediante LiWatool.

2 Desarrollo y análisis de escenarios integrados

Enfoque

Los escenarios son “...una visión internamente consistente de lo que podría ser el futuro – no un pronóstico sino un posible resultado futuro”. Por lo tanto, los escenarios son imágenes del futuro que ilustran de modo aproximado, aunque consistente, los posibles desarrollos principales para un área de interés de grande o pequeña escala. No se centran en qué sucederá sino en lo que podría suceder. De allí los escenarios pueden ser utilizados como base para la planificación.

¿Por qué es útil conocer sobre los escenarios en el Proyecto LiWa?

Los escenarios constituyen una herramienta útil particularmente en aquellas áreas donde el desarrollo no puede ser pronosticado dado su alto grado de variabilidad, complejidad, susceptibilidad, interferencias o su dependencia de las decisiones humanas. El sector de agua reúne estas características, en tanto que, se basa en la interconexión de componentes naturales, técnicos, políticos y sociales.

En el proyecto LiWa se desarrollaron escenarios para crear una gama de posibles situaciones futuras para el sector hídrico en Lima y Callao al año 2040. Adicionalmente, la construcción de escenarios se utilizó también para fomentar la participación y la comunicación entre las partes interesadas, por ejemplo los representantes de la empresa local de servicios de agua y saneamiento, las autoridades públicas, la sociedad civil y el mundo académico. La inclusión de diferentes puntos de vista apoya la construcción de escenarios basados en supuestos, fuerzas motrices y la evaluación de las interdependencias.

En líneas generales, los escenarios:

Proporcionan un marco general en el proyecto LiWa para evaluar la eficacia de distintas medidas destinadas a mejorar el futuro suministro de agua de Lima y Callao.

- Esbozan ideas generales sobre posibles medidas futuras y son utilizados como base para una discusión y simulación posterior de medidas detalladas,
- Permiten el desarrollo de un plan de acción por parte de las partes interesadas locales.

Finalmente, los escenarios son imágenes cualitativas de posibles futuros socio-económicos y proporcionan la información de contexto necesaria para la simulación detallada de los aspectos técnicos del sistema de agua.

Metodología “CIB y Simulación” (CIB &S)

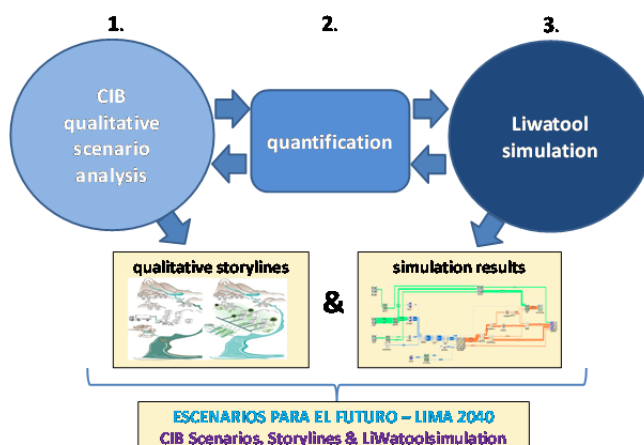
El sistema utilizado para construir escenarios del futuro hídrico de Lima y Callao en el año 2040 consiste en un método **combinado** de escenarios:

Escenarios cualitativos	+ Simulación cuantitativa
<p>El método de escenario cualitativo utilizado en el proyecto para desarrollar imágenes coherentes de posibles futuros se denomina CIB, análisis de balance de impactos cruzados. Constituye una forma cualitativa de análisis de sistemas (para mayor información sobre CIB, ver: www.cross-impact.de).</p>	<p>LiWatoool es la herramienta cuantitativa utilizada para simular y evaluar escenarios (ver página 11).</p>

A través del método cualitativo **CIB** es posible describir la inseguridad y complejidad de los futuros desarrollos de la ciudad de Lima y Callao. Los futuros desarrollos de la sociedad, los factores políticos, la infraestructura tecnológica y el medio ambiente pueden ser analizados en conjunto, considerando las influencias de estos desarrollos entre sí. A pesar de que CIB es un método cualitativo, posee la ventaja de aplicar un enfoque relativamente sistemático que permite la creación de escenarios sin contradicciones internas.

La herramienta cuantitativa **LiWatoool** permite hacer simulaciones numéricas de un modelo del sistema hídrico general de la ciudad de Lima y Callao. Permite el análisis de los aspectos más técnicos del futuro hídrico de Lima, como por ejemplo la interacción entre el suministro de agua (ríos y aguas subterráneas, infraestructura) y la demanda de agua. LiWatoool posee la ventaja de proporcionar más detalles que los escenarios cualitativos y, particularmente, la posibilidad de brindar información en cifras.

Los escenarios CIB han sido transformados en **storylines (guiones)** cualitativos. Luego, y en la medida de lo posible, estos escenarios se transformaron en cifras (**cuantificación**) y se utilizaron como parámetros para la información de entrada para las **simulaciones** LiWatoool.



A continuación se describen estos tres elementos centrales del enfoque combinado “CIB & Simulación” (CIB&S).

Análisis de escenarios cualitativos con CIB

Un grupo de partes interesadas (que incluye representantes de todos los socios peruanos del proyecto LiWa, como la empresa de agua, el sector científico y ONGs) se reunió regularmente en Lima desde 2009 para construir escenarios cualitativos del futuro hídrico de Lima y Callao hasta el año 2040. Este proceso recibió el apoyo de ZIRIUS, un centro de investigación de la Universidad de Stuttgart. Estas reuniones se realizaron mediante los siguientes pasos:

Paso 1: Identificación de los factores clave

Durante diversos talleres locales en Lima, se identificaron los 13 factores claves (o las fuerzas motrices o descriptores) que ejercerían influencia sobre el sector hídrico al año 2040 en 4 áreas (ver Figura 1) (ver también Anexo 1: Definición cualitativa de los descriptores):

- a) **Gobernanza**
- b) **Cambio climático**
- c) **Población y territorio**
- d) **Infraestructura hídrica**

Paso 2: Definición de potenciales desarrollos futuros

Se definieron dos o tres posibles desarrollos futuros alternativos (movimientos) para cada uno de los 13 descriptores (ver Figura 2).

Paso 3: Evaluación de interdependencias entre los desarrollos

El método CIB incluye la evaluación sistemática de las interdependencias entre los factores, utilizando un concepto cualitativo de impactos cruzados en base al criterio de expertos. Los descriptores y desarrollos alternativos fueron considerados como una matriz y se discutieron y evaluaron posibles interdependencias entre cada uno de ellos.

Se creó una red de impactos mediante la evaluación de influencias impulsoras e inhibitorias entre los desarrollos futuros, la cual “guarda” los supuestos del grupo de escenarios de acuerdo a la dirección (impulsa o inhibe) e intensidad de las interdependencias (ver Anexo 2: La matriz CIB).

Paso 4: Creación de escenarios consistentes

A continuación, y con la ayuda del análisis CIB, se combinaron descriptores y desarrollos alternativos en forma de escenarios internos consistentes. El análisis CIB es apoyado por el software “ScenarioWizard”¹ El resultado del análisis arrojó como resultado 16 escenarios internamente consistentes, de un conjunto de aproximadamente 140.000 posibles combinaciones. Los resultados fueron sintetizados en cuatro escenarios principales A, B, C y D (ver Tabla 1). Estos fueron sometidos a un proceso de revisión en mesas redondas con la participación de los principales actores del sector.

¹Descarga gratuita en www.cross-impact.de

Figura1: 13 descriptores



Figura 2: Descriptores y desarrollos posibles

A Forma de Gobierno	A1 Gobierno con poder de decisión y con visión	A2 Gobierno sin poder de decisión y sin visión	Gobernanza	
H Gestión de las cuencas hidrográficas	H1 Gestión de las cuencas con integración	H2 Gestión de las cuencas sin integración		
B Gestión de la empresa de agua	B1 Empresa de agua privada	B2 Empresa de agua con autonomía del gobierno		B3 Empresa de agua dependiente del gobierno
C Tarifas de agua y saneamiento	C1 Tarifas de agua no sincerada	C2 Tarifas de agua sincerada		
D Demografía	D1 Crecimiento de la población alto	D2 Crecimiento de la población medio	D3 Crecimiento de la población bajo	Territorio y Población
I Forma de desarrollo urbano	I1 Ciudad con planificación y áreas verdes	I2 Ciudad sin planificación y pocas áreas verdes		
E Pobreza urbana	E1 Pobreza urbana aumenta	E2 Pobreza urbana se mantiene	E3 Pobreza urbana disminuye	
F Consumo de agua per cápita	F1 Consumo per cápita de agua aumenta	F2 Consumo per cápita de agua se mantiene	F3 Consumo per cápita de agua disminuye	
J Cobertura en la red de agua	J1 Cobertura de agua disminuye	J2 Cobertura de agua se mantiene	J3 Cobertura de agua aumenta	Infraestructura hídrica
G Pérdidas de agua en la red	G1 Pérdidas de agua aumentan	G2 Pérdidas de agua disminuyen		
K Tratamiento y reuso de aguas residuales	K1 Tratamiento y reuso de aa.rr. se mantiene	K2 Tratamiento y reuso de aa.rr. aumenta		
L Fuentes de agua por infraestructura	L1 Fuentes de agua aumentan	L2 Fuentes de agua se mantienen	L3 Fuentes de agua disminuyen	
M Cambio climático (caudal y riesgos)	M1 Caudal de los ríos excesivo (inundaciones)	M2 Caudal de los ríos aumenta sin riesgos	M3 Caudal bajo (sequías graves)	Cambio climático

Tabla 1: Escenarios CIB (escenarios de referencia)

	Escenario A: Condiciones climáticas difíciles se suman a una gobernanza muy deficiente		Escenario B: La tragedia de las medidas aisladas		Escenario C: Las oportunidades de los actores al nivel meso	Escenario D: Resiliencia al clima por medio de la gobernanza	
	Config. no. 10	Config. no. 3	Escenario B1: La gestión de cuencas nadando contracorriente	Escenario B2: La empresa de agua privada como luchador solitario		Config. no. 9	Config. no. 11
<i>A Forma de Gobierno</i>	A2 Gobierno sin poder de decisión y sin visión		A2 Gobierno sin poder de decisión y sin visión		A2 Gobierno sin poder de decisión y sin visión	A1 Gobierno con poder de decisión y con visión	
<i>H Gestión de las cuencas hidrográficas</i>	H2 Gestión de las cuencas sin integración		H1 Gestión de las cuencas con integración	H2 Gestión de las cuencas sin integración	H1 Gestión de las cuencas con integración	H1 Gestión de las cuencas con integración	
<i>B Gestión de la empresa de agua</i>	B3 Empresa de agua dependiente del gobierno		B3 Empresa de agua dependiente del gobierno	B1 Empresa de agua privada	B1 Empresa de agua privada	B2 Empresa de agua con autonomía del gobierno	
<i>C Tarifas de agua y saneamiento</i>	C1 Tarifas de agua no sincerada		C1 Tarifas de agua no sincerada	C2 Tarifas de agua sincerada	C2 Tarifas de agua sincerada	C2 Tarifas de agua sincerada	
<i>D Demografía</i>	D1 Crecimiento de la población alto		D1 Crecimiento de la población alto		D2 Crecimiento de la población medio	D3 Crecimiento de la población bajo	
<i>I Forma de desarrollo urbano</i>	I2 Ciudad sin planificación y pocas áreas verdes		I2 Ciudad sin planificación y pocas áreas verdes		I2 Ciudad sin planificación y pocas áreas verdes	I1 Ciudad con planificación y áreas verdes	
<i>E Pobreza urbana</i>	E1 Pobreza urbana aumenta		E1 Pobreza urbana aumenta		E2 Pobreza urbana se mantiene	E3 Pobreza urbana disminuye	
<i>J Cobertura en la red de agua</i>	J1 Cobertura de agua disminuye		J1 Cobertura de agua disminuye		J2 Cobertura de agua se mantiene	J3 Cobertura de agua aumenta	
<i>F Consumo de agua per cápita</i>	F3 Consumo per cápita de agua disminuye		F3 Consumo per cápita de agua disminuye		F3 Consumo per cápita de agua disminuye	F3 Consumo per cápita de agua disminuye	
<i>G Pérdidas en la red</i>	G1 Pérdidas de agua aumentan		G1 Pérdidas de agua aumentan		G1 Pérdidas de agua aumentan	G2 Pérdidas de agua disminuyen	
<i>K Tratamiento y reuso de aguas residuales</i>	K1 Tratamiento y reuso de aa.rr. se mantiene		K1 Tratamiento y reuso de aa.rr. se mantiene	K2 Tratamiento y reuso de aa.rr. aumenta	K2 Tratamiento y reuso de aa.rr. aumenta	K2 Tratamiento y reuso de aa.rr. aumenta	
<i>L Fuentes de agua por infraestructura</i>	L3 Fuentes de agua disminuyen		L1 Fuentes de agua aumentan	L3 Fuentes de agua disminuyen	L1 Fuentes de agua aumentan	L1 Fuentes de agua aumentan	
<i>M Cambio climático (caudal y riesgos)</i>	M3 Caudal bajo (sequías graves)	M1 Caudal de los ríos excesivo (inundaciones)	M3 Caudal de los ríos bajo (sequías graves)		M3 Caudal de los ríos bajo (sequías graves)	M3 Caudal bajo (sequías graves)	M2 Caudal de los ríos aumenta sin riesgos
Escenario de referencia	A/ 'seco'	Alternativa A/ 'húmedo'	B1	B2	C	D/ 'seco'	Alternativa D/ 'húmedo'

Cuantificación

Por un lado, los escenarios CIB fueron incorporados en storylines y por otro, dentro de lo posible, fueron cuantificados para servir como grupos de parámetros de entrada para simulaciones con LiWatool.

Con el fin de simular escenarios CIB con LiWatool, fue necesario transformar los desarrollos y descriptores adoptados en indicadores y períodos de tiempo. En consultas entre ZIRIUS e ifak se decidió cuantificar 10 de 13 descriptores. Se mantuvieron definidos cualitativamente solamente los tres descriptores correspondientes a los *actores* del sistema: **el gobierno, la gestión de cuencas y la empresa de agua**. Posteriormente, durante frecuentes intercambios y discusiones entre ZIRIUS e ifak, que incluyeron a diversos socios del proyecto en Perú y Alemania y sus conocimientos sobre descriptores individuales², se definieron indicadores y se decidieron los períodos de tiempo. El proceso de transferir las imágenes de los escenarios, expresados cualitativamente, a cifras se basó en la información numérica disponible y se decidió finalmente en base a juicios técnicos.

Simulación con LiWatool

Para la evaluación numérica de los escenarios (y también de algunas medidas) se usa la herramienta de simulación LiWatool. Este simulador ha sido desarrollado por el instituto ifak e.V. Magdeburgo en el marco del proyecto LiWa. LiWatool permite definir sistemas y flujos de recursos y hacer un análisis de recursos (Ressource flux analysis³, Material Flux analysis). Es un programa de muy alta flexibilidad, permitiendo al usuario definir su sistema mediante bloques (módulos con ecuaciones), flujos y criterios de evaluación.

Para el análisis de los escenarios del futuro, se ha representado el sistema de agua y aguas residuales de Lima y Callao de manera sencilla en un solo modelo. Dicho modelo representa las partes importantes del sistema de agua y aguas residuales usando datos de población, consumo de agua, entre otros. La figura en la página 13 representa el sistema presente (correspondiente al año 2011).

LiWatool utiliza y resuelve sistemas de ecuaciones lineales y no lineales para calcular los volúmenes de agua y las calidades de los flujos de agua potable y aguas residuales; para entender esta

² Por ejemplo el Centro Helmholtz UFZ (con respecto a las tarifas); SEDAPAL (por ejemplo, respecto al desarrollo de pérdidas en la red y el índice de cobertura de la red de agua); FOVIDA (por ejemplo, en lo concerniente a las estadísticas de pobreza y población), ILPOE y FCPV (principalmente con respecto a la planificación urbana y áreas verdes) e IWS (con respecto al acceso al agua y cambio climático).

³ Baccini, P., Bader, H.-P. (1996): *Regionaler Stoffhaushalt – Erfassung, Bewertung, Steuerung, Spektrum* Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford

información, recomendamos ver los indicadores de resultados, el consumo total del agua (y su balance), ingreso generado por tarifas, la energía utilizada en el sistema de agua, entre otros aspectos.

Los resultados de dichos cálculos quedan disponibles mediante diagramas Sankey (representando los flujos dentro del sistema con líneas con ancho proporcional al valor representado), gráficos de series de tiempo, y tablas numéricas.

También permite guardar los resultados en archivos Excel. Aunque LiWatool permite el cálculo (aproximado) de concentraciones de contaminantes, hasta el momento se usa solamente la Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO) como descripción de descargas orgánicas al medio ambiente.

Es importante tener en cuenta que LiWatool considera entre otros aspectos:

- **Oferta** de agua: entendida como el agua disponible en los ríos, fuentes subterráneas y fuentes propias para la ciudad y para el riego de áreas verdes y zonas agrícolas. Se compara con la demanda de agua.
- **Demanda** de agua: considerada como la cantidad demandada por la ciudad (para uso doméstico y uso no doméstico, p.e. industria) y para el riego. Las simulaciones también calculan la **demanda de la ciudad** (doméstica y no doméstica), lo cual excluye la demanda para el riego.

Cabe destacar que es importante diferenciar los términos “demanda” y “consumo”. Por **demanda** entendemos lo que se necesita de las fuentes de agua, mientras que “**consumo**” es la cantidad de agua que se utiliza – o quiere utilizar – por el usuario. Dado que existen pérdidas y robo de agua, la demanda es usualmente mayor que el consumo.

Hacemos uso del término “**consumo deseado**” para caracterizar la cantidad de agua que se estima requerida por los usuarios según sus hábitos (consumo diario por habitante según el nivel socioeconómico). Esto no implica que sugiramos que dicho “consumo deseado” representa valores suficientes para la población.

Además, es necesario precisar que, si hay menos agua disponible que la considerada como “consumo deseado” (sea por falta de capacidad de plantas de tratamiento de agua potable, sea por caudal insuficiente de los ríos), existirá una diferencia entre la **cantidad “deseada”** y la **cantidad suministrada**. Algunos de los gráficos en las páginas siguientes muestran estas cantidades.

Para los cálculos, LiWatool requiere de datos de entrada (Input). Para algunos de estos se asumen series de tiempo diferentes para cada escenario (por ejemplo, crecimiento de población alto o bajo). Los anexos resumen las suposiciones, y también definen los criterios mencionados en la descripción de los resultados (por ejemplo, ingreso, consumo de energía, entre otros).

En este documento se describe la evaluación de los escenarios. Aquí no se considera en detalle las medidas específicas pues esta información se desarrolló en otros talleres. Pero, para estimar el comportamiento del sistema de agua en el futuro, se hacen suposiciones de medidas aplicadas, al menos en manera general. En las simulaciones presentadas en este documento, se asumen, por ejemplo, los siguientes de los proyectos en mención:

- **Proyecto Huascacocha:** entrando en marcha en el año 2012, aportando 2.20 m³/s de caudal adicional al Río Rímac
- **PTAP Huachipa:** entrando en marcha en el año 2013, aportando 5 m³/s de tratamiento de agua potable, y en el año 2019 5 m³/s adicional.
- **PTAR Taboada y La Chira:** tratamiento primario de aguas residuales: entrando en marcha en el año 2013 (Etapa I: 14 m³/s) y luego, en el año 2015 (Etapa II), tratando en total la suma de 20.3 m³/s.

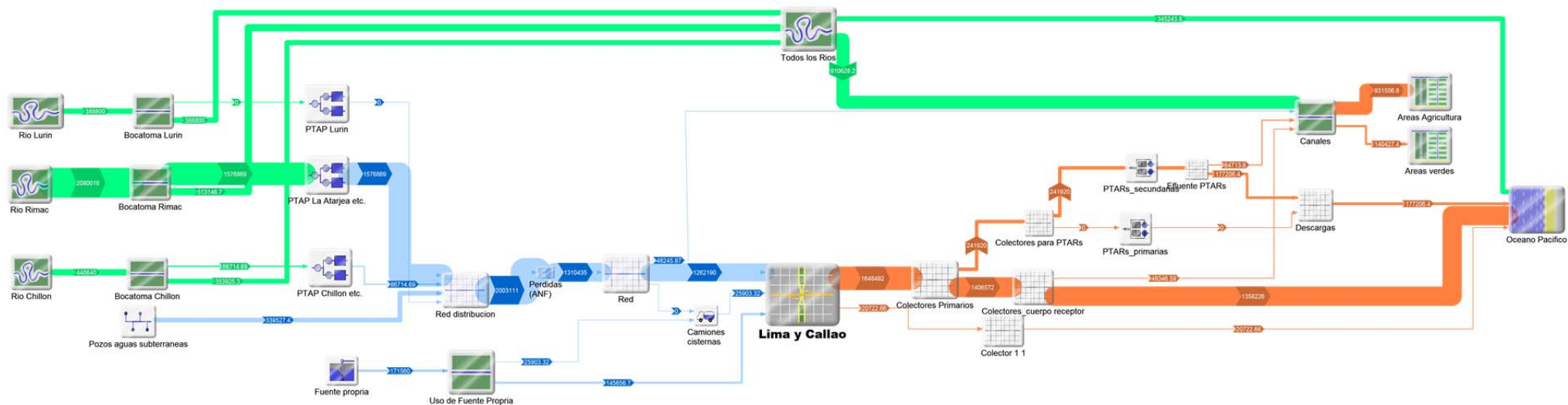
Con estas opciones, LiWatoool permite simular los efectos de otras obras de infraestructura.

Debido a la complejidad del sistema de agua y desagües de Lima y Callao, para la simulación de los escenarios ha sido necesario simplificar el sistema para representarlo en un solo modelo. Esto es un procedimiento necesario para cualquier tipo de modelo. Esto implica que los resultados calculados y estimados por LiWatoool pueden no ser exactos, pero sí ser considerados como valores aproximados para fines de comparación entre escenarios y medidas posibles.

Los valores usados para los cálculos en este modelo sencillo⁴ son valores promedios anuales, sin considerar las variaciones importantes interanuales. El modelo presente tampoco considera la distribución espacial del sistema de agua. **Esto implica que los resultados de la simulación con LiWatoool dan una visión general de cómo se desarrollará el futuro, sin considerar la distribución interanual y espacial.** Por esta razón, en algunos casos, el modelo puede generar resultados aparentemente optimistas, pero que deben ser analizados en más detalle.

⁴También se han desarrollado modelos más detallados. Para este análisis de los escenarios, se ha aplicado un modelo sencillo del sistema de agua y desagües de Lima y Callao.

Figura 3: Diagrama LiWatool Sankey (Escenario A; cambio climático ‘seco’ en el año 2011)



3 Escenarios “Lima y Callao 2040” en corto

Escenario A:

“Las condiciones climáticas difíciles se suman a una gobernanza muy deficiente”

El suministro de agua de la ciudad de Lima y el Callao, en el año 2040, se encuentra bajo presión a causa del aumento de la población, del crecimiento de la ciudad (tanto horizontal como verticalmente), la difícil situación socioeconómica, la infraestructura hídrica deficitaria y, en especial, a consecuencia de las débiles estructuras de gobernanza.

Esta presión aumentó progresivamente por los impactos del cambio climático ocurridos en los últimos años; lo cual lleva, en promedio, a una clara disminución o a un notorio aumento de las precipitaciones en la cuenca alta.

Escenario B:

“La tragedia de las medidas aisladas”

El Escenario B es fundamentalmente muy similar al Escenario A. La población urbana ha aumentado en las últimas décadas, la ciudad continúa con la misma tendencia de crecimiento (tanto de manera horizontal como vertical) manteniendo la dinámica de ocupación de los valles. A pesar de contar con una gobernanza poco eficaz y eficiente como en el A, en este escenario algunos actores han tomado la iniciativa y actuado con el objetivo de mejorar el sistema de agua de la ciudad y asegurar su suministro para Lima y el Callao. En la variante B1 se ha establecido una gestión de las cuencas hidrográficas integrando diferentes instituciones de manera participativa. Este escenario ha aumentado exitosamente los recursos de agua disponibles para la ciudad.

En la variante B2 una empresa privada de agua ha intentado mejorar la situación, con el apoyo de ingresos generados a través de tarifas de agua rentables. En ambos casos, estos actores actúan aislados y sus medidas se limitan a determinadas áreas del sistema de agua.

Escenario C:

“Las oportunidades de los actores a nivel meso”

En el Escenario C aparecen conjunta y concertadamente los actores de la escala meso (nivel situado entre el gobierno central y las entidades locales), que actúan de manera aislada en el Escenario B: la gestión integrada de las cuencas y la empresa privada de agua.

La diferencia sustancial que se observa en este escenario es que el trabajo conjunto de los actores ha podido lograr mejores resultados para la situación del agua de Lima y Callao en comparación a la suma de iniciativas aisladas. Esto, a pesar de que la población urbana ha aumentado en las últimas décadas, que la ciudad ha mantenido su misma tendencia de crecimiento (tanto horizontal como

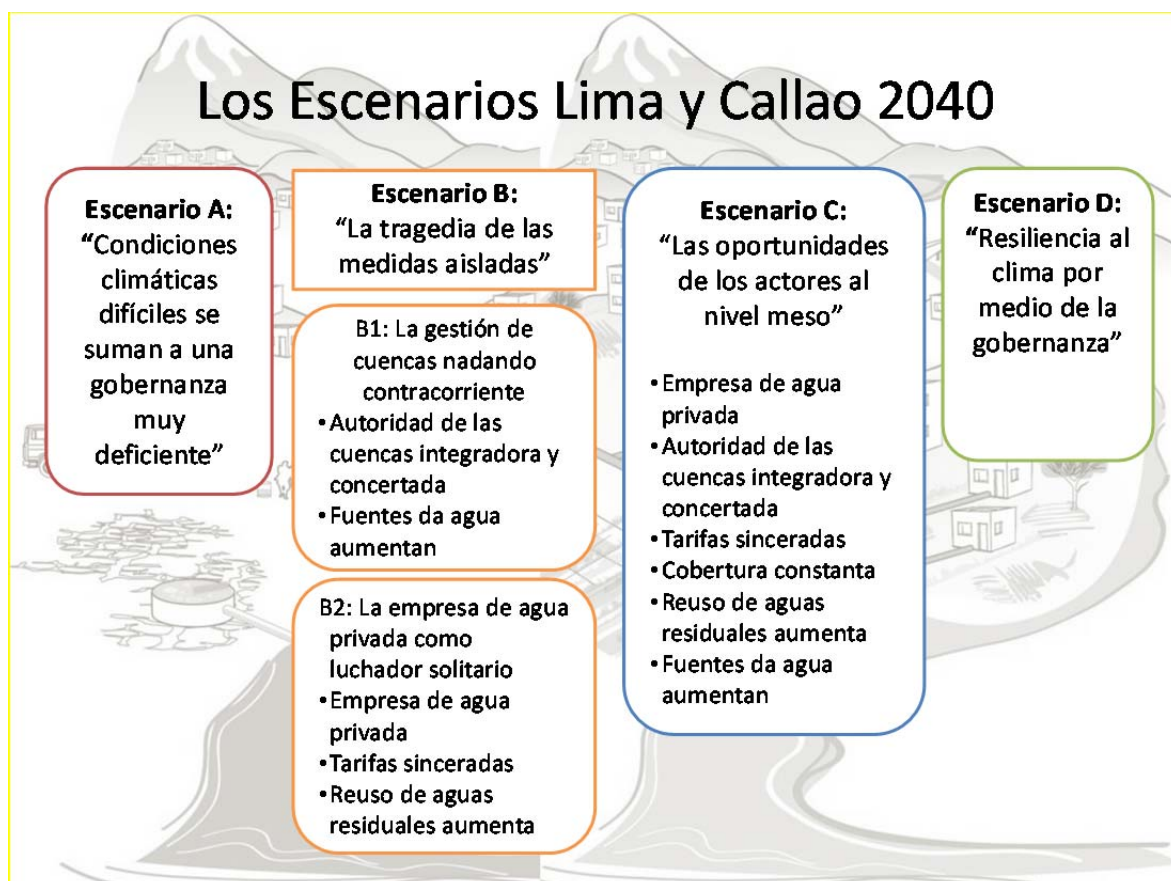
vertical); que tanto Lima como el Callao sufren un considerable estrés climático, y que las condiciones generales de tipo político y socioeconómico tampoco son más favorables que en los Escenarios A y B.

Escenario D:

“Resiliencia al clima por medio de la gobernanza”

Dado que se observan estructuras de gobernanza fuertes en todos los niveles (local, regional y nacional) que han privilegiado la coordinación, concertación y la planificación como aspectos claves de su accionar, el suministro de agua de la ciudad de Lima y el Callao, en el año 2040, es relativamente independiente de los efectos provocados por el cambio climático.

Además se ha privilegiado el desarrollo y promoción de políticas públicas que benefician la inclusión, la promoción del empleo y se encuentran orientadas a la lucha contra la pobreza. Se cuenta con planes de desarrollo municipales concertados que incorporan estrategias de adaptación para la ciudad, se propician condiciones socioeconómicas estables y una infraestructura hídrica bien consolidada.



4 Escenarios: storylines (guiones) y simulaciones

A continuación presentaremos el detalle de los guiones y de las simulaciones correspondientes a cada uno de los escenarios considerados:

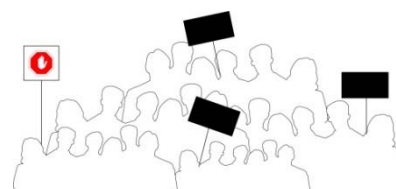
4.1 Escenario A:

Lima 2040

“Condiciones climáticas difíciles se suman a una gobernanza deficiente”

a) Gobernanza

En el año 2040, Lima Metropolitana se caracteriza por tener **débiles estructuras de gobernanza**, con baja capacidad de toma de decisiones eficientes y eficaces, con **falta de visión común** para promover políticas orientadas al mediano y largo plazo, duplicidad



de competencias y ausencia de coordinación y de mecanismos de cooperación entre los actores involucrados. Situación que se refleja también en la gestión de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, la empresa de agua y saneamiento y las tarifas de servicio de agua potable.

Tanto la **autoridad de gestión de las cuencas** como la **empresa de agua dependen de la política del gobierno** de turno y no reciben las competencias ni el presupuesto necesario para desempeñar su función de manera eficiente y eficaz. Se evidencian una mayor cantidad de **conflictos** por el agua y mayores niveles de contaminación del agua que encarece los costos de tratamiento de la empresa de agua. Por otro lado, **las tarifas de agua potable** se mantienen relativamente **bajas** y **no incorporan los costos ambientales**.

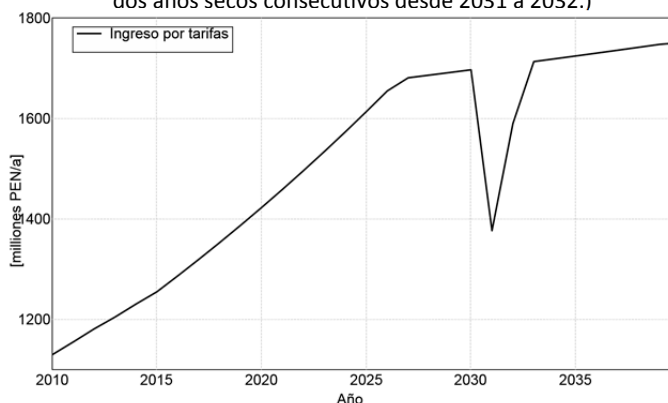
Tarifas: Las tarifas de agua aumentan sólo levemente a **2.94 PEN/m³** en 2040 (aumento exponencial de 1 % p.a.).

El ingreso generado por tarifas permite solamente la realización de inversiones sumamente modestas en la infraestructura hídrica:

2011: aprox. 1,155 millones PEN/a

2040: aprox. 1,751 millones PEN/a

Figura 4: Ingreso por tarifas (escenario A, cambio climático ‘seco’, dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032.)



b) Cambio climático

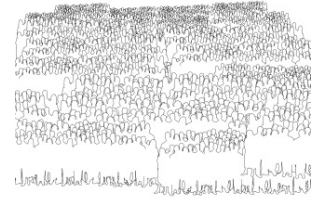
Por el **impacto de eventos climáticos** frecuentes ocurridos en los últimos años (diversos fenómenos El Niño o La Niña) se ha **incrementado la presión** de la población **sobre el suministro de agua** de la ciudad de Lima y el Callao. La severidad de esta presión depende, obviamente, de la **disminución** de las precipitaciones en la cuenca alta y en consecuencia **en los caudales en los ríos.**



Cambio climático: El futuro desarrollo del cambio climático es incierto. El desarrollo de las precipitaciones y del caudal promedio de los tres ríos (Rímac, Chillón y Lurín) en el período 2011-2050 en relación al promedio observado del 1999-2008 puede ser entre **+ 6%** (en promedio 35.8m³/s) (variante **cambio climático ‘húmedo’**) y **-13%** (en promedio 29.4m³/s) (variante **cambio climático ‘seco’**). Ya que la ciudad de Lima no puede influir directamente en el cambio climático, ambas variantes climáticas son verosímiles en este escenario. Para la variante “seca”, asumimos que, adicionalmente, se presentan **dos años secos consecutivos** en los años **2031 y 2032**.

c) Población y territorio

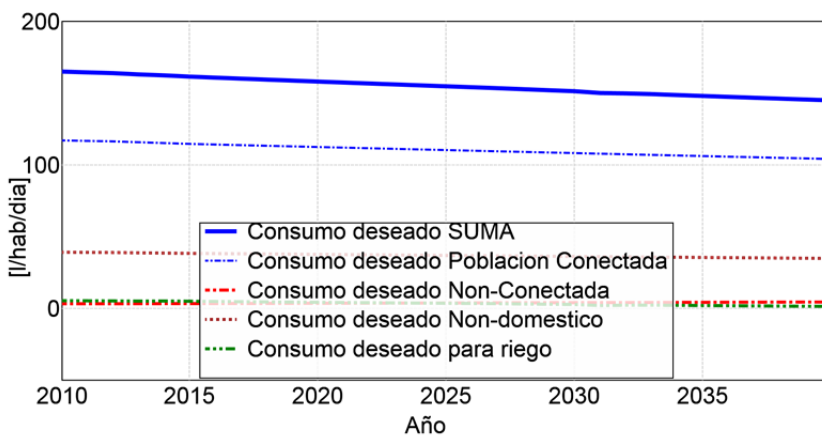
Cerca de **16 millones de personas** viven en Lima y Callao en el 2040 y se aprecia que el suministro de agua para esta población es deficitario. El **consumo de agua per cápita** (promedio) en los hogares ha **descendido** a causa del crecimiento poblacional, principalmente de la población en situación de pobreza.



Pobreza: El porcentaje de los habitantes que pertenecen a los dos niveles socio-económicos más bajos de los cinco niveles existentes (NSE D y E) aumenta al **45 %** hasta el año 2040.

Consumo de agua/cápita/día (doméstico y no-doméstico y para riego):

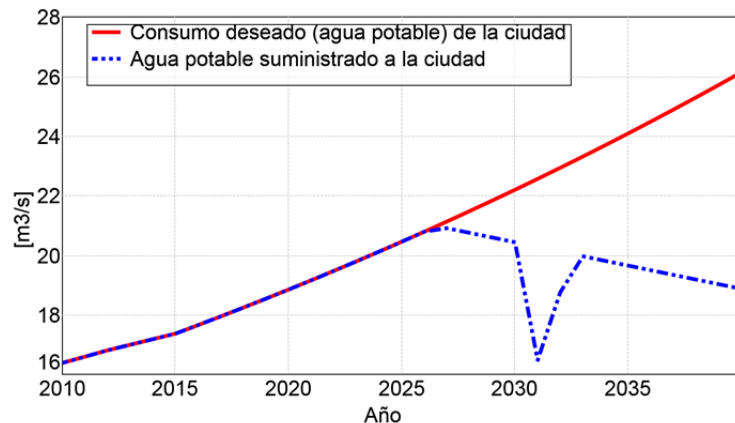
Figura 5: Consumo ‘deseado’ por habitante y día (escenario A, cambio climático ‘seco’)



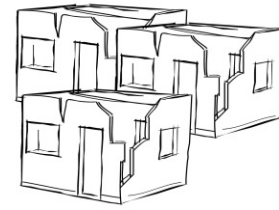
El “consumo deseado” (proyectado) disminuye por la fracción más alta de los niveles socioeconómicos bajos.

Consumo de agua potable total de la ciudad: en este gráfico se ve que, que con el consumo deseado creciendo en manera absoluta [m³/s], no será posible suministrar esta cantidad de agua a la ciudad después del año 2027.

Figura 6: Consumo agua potable da la ciudad (‘deseado’ y suministrado) (escenario A, cambio climático ‘seco’)



El crecimiento, **acelerado sin planificación y control**, tanto horizontal como vertical de la ciudad, ha ocasionado que los servicios y las redes de agua potable no hayan ido en el mismo ritmo de ampliación y se registren recortes de horas de suministro de agua en varios distritos de la ciudad. Por lo general, los nuevos asentamientos humanos se ubican en zonas de difícil acceso dificultando el tendido de nuevas redes de agua.



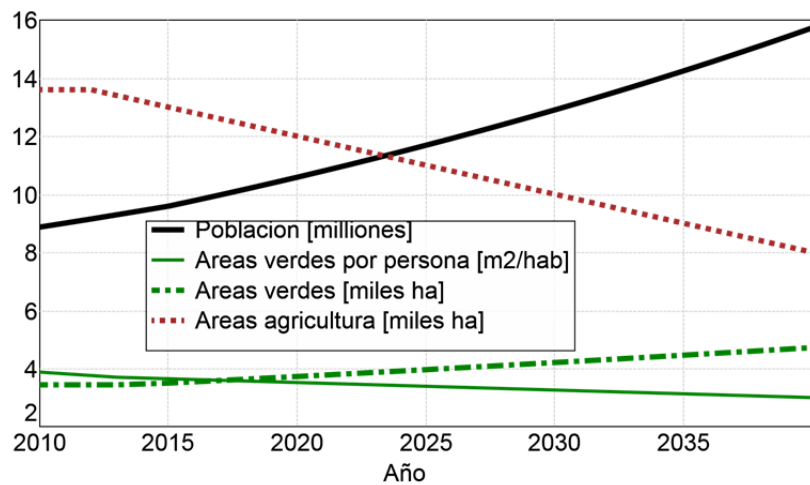
El porcentaje de la población total que se encuentra **conectado a la red pública de agua** es de **85 % en el año 2040**.

A pesar de la construcción de parques y bermas durante el crecimiento horizontal de la ciudad, **las áreas verdes públicas** (en promedio) accesibles por habitante **se reducen** a aproximadamente **3 m²**.

A causa de la expansión horizontal descontrolada de la ciudad, por ejemplo la invasión por asentamientos informales en

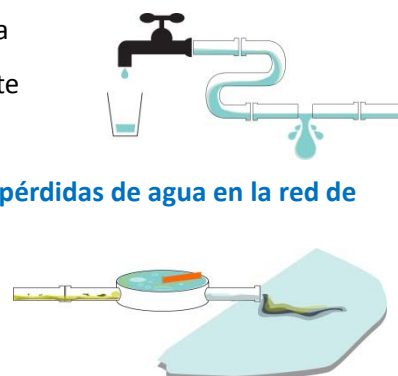
zonas agrícolas y las tierras utilizadas para la construcción privada (los agricultores venden sus terrenos), se ha perdido la mayor parte de las **áreas agrícolas urbanas**: las 13,600 hectáreas (en el 2012) **se redujeron** a **8,000 hectáreas** (2040).

Figura 7: Población y áreas verdes (escenario A, cambio climático 'seco')



d) Infraestructura hídrica

Dado que no se ha invertido suficientemente en el mantenimiento y la rehabilitación de las redes de agua potable y se ha observado un fuerte aumento de conexiones clandestinas, existe un fuerte déficit de infraestructura hídrica. Este déficit se evidencia en el **aumento de las pérdidas de agua en la red de agua potable** y en el **tratamiento de las aguas residuales** que solo reciben un tratamiento primario lo cual no permite que sea adecuada para la reutilización en el riego de áreas verdes.

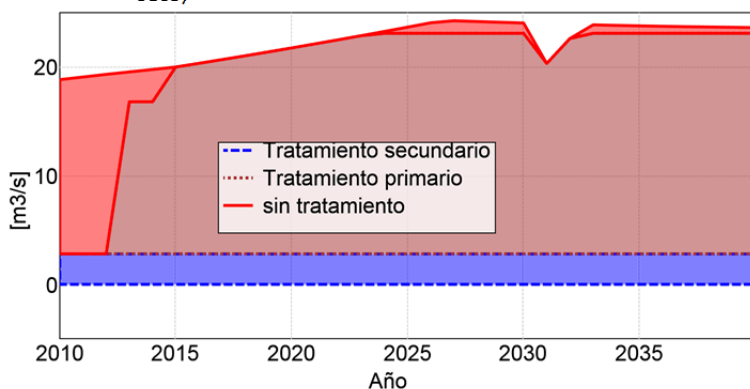


Pérdidas: Agua No Facturada (ANF), que incluye no solamente pérdidas físicas, pero también, entre otros, robo de agua y por conexiones clandestinas, llega en el 2040 al un promedio de **40%**.

Tratamiento y reuso de aguas residuales

A partir de 2015, las mega-plantas *La Taboada* y *La Chira* aseguran un **tratamiento** al menos a **nivel primario** de **20 m³/s** de las aguas residuales. La cantidad de aguas residuales que recibe

Figura 8: Tratamiento de aguas residuales (escenario A, cambio climático seco)



adicionalmente un **tratamiento secundario** es de **2.8 m³/s**, pero solamente **una pequeña parte (27 %)** de esta agua tratada, teóricamente reutilizable, es de hecho utilizada para **regar las áreas verdes y agrícolas**.

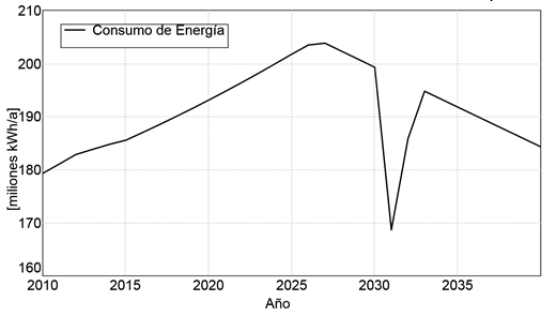
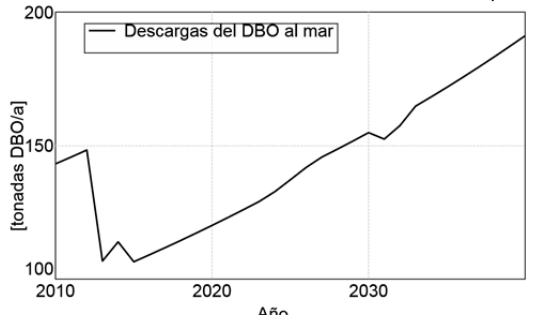
Además, se observa la disminución de las fuentes de agua disponibles por infraestructura causadas por una **sobreexplotación del acuífero** en épocas de sequía.

El volumen de **aguas subterráneas** disponibles en el año 2040 ha disminuido a **2 m³/s** (4 m³/s en el año 2011).

Por otro lado, **no se construyeron represas adicionales** que permitieran almacenar el agua de las cuencas hidrográficas en épocas de lluvia; y, también se observó la deficiente infraestructura para potabilizar el agua de los ríos.

Se encuentran en funcionamiento, en adición a las plantas existentes (La Atarjea y Chillón), las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) y los embalses detallados a continuación:

- PTAP Huachipa, segunda etapa
- represa Huascacocha (marca IV), desde 2012

<p>Consumo energético del sistema de agua</p> <p>El consumo de energía disminuye después del año 2031, por la sequía y también porque se usa menos aguas de los pozos subterráneos (los cuales consumen mucha energía).</p>	<p>Carga orgánica</p> <p>La entrada en marcha de las PTARs nuevas en los años 2013 y 2015 resulta en una caída de las descargas del DBO. Luego incrementan con el incremento de las aguas residuales, más que todo por el crecimiento poblacional.</p>																																						
<p>Figura 9: Consumo energético del sistema de agua (escenario A, cambio climático 'seco, dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032)</p>  <table border="1"> <caption>Data for Figura 9: Consumo energético del sistema de agua</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Consumo de Energía [millones kWh/a]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2010</td><td>180</td></tr> <tr><td>2015</td><td>185</td></tr> <tr><td>2020</td><td>195</td></tr> <tr><td>2025</td><td>205</td></tr> <tr><td>2030</td><td>200</td></tr> <tr><td>2031</td><td>170</td></tr> <tr><td>2032</td><td>195</td></tr> <tr><td>2035</td><td>185</td></tr> </tbody> </table>	Año	Consumo de Energía [millones kWh/a]	2010	180	2015	185	2020	195	2025	205	2030	200	2031	170	2032	195	2035	185	<p>Figura 10: Calidad del agua (DBO al mar) (escenario A cambio climático 'seco', dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032)</p>  <table border="1"> <caption>Data for Figura 10: Calidad del agua (DBO al mar)</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Descargas del DBO al mar [tonadas DBO/a]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2010</td><td>150</td></tr> <tr><td>2011</td><td>100</td></tr> <tr><td>2012</td><td>105</td></tr> <tr><td>2013</td><td>100</td></tr> <tr><td>2015</td><td>110</td></tr> <tr><td>2020</td><td>130</td></tr> <tr><td>2025</td><td>150</td></tr> <tr><td>2030</td><td>150</td></tr> <tr><td>2035</td><td>190</td></tr> </tbody> </table>	Año	Descargas del DBO al mar [tonadas DBO/a]	2010	150	2011	100	2012	105	2013	100	2015	110	2020	130	2025	150	2030	150	2035	190
Año	Consumo de Energía [millones kWh/a]																																						
2010	180																																						
2015	185																																						
2020	195																																						
2025	205																																						
2030	200																																						
2031	170																																						
2032	195																																						
2035	185																																						
Año	Descargas del DBO al mar [tonadas DBO/a]																																						
2010	150																																						
2011	100																																						
2012	105																																						
2013	100																																						
2015	110																																						
2020	130																																						
2025	150																																						
2030	150																																						
2035	190																																						

Balance hídrico (oferta-demanda) (cambio climático “seco” y “húmedo”)

En las siguientes figuras se muestran los efectos del escenario A bajo un cambio climático “seco” y “húmedo”: Se nota que en el “seco”, la demanda supera la oferta en el año 2023. Bajo las condiciones “húmedas” el balance oferta-demanda es menos fuerte, pero a partir del año 2027 la demanda de la ciudad supera la oferta. Es notable que en el escenario A, sea seco o húmedo (es decir, también con suposiciones muy optimistas sobre el cambio climático), Lima y Callao se encontraría en una situación de déficit de agua (oferta menor que demanda).

Figura 11: Oferta y demanda escenario A, cambio climático ‘seco’ (M3)
(dos años secos consecutivos 2031 a 2032)

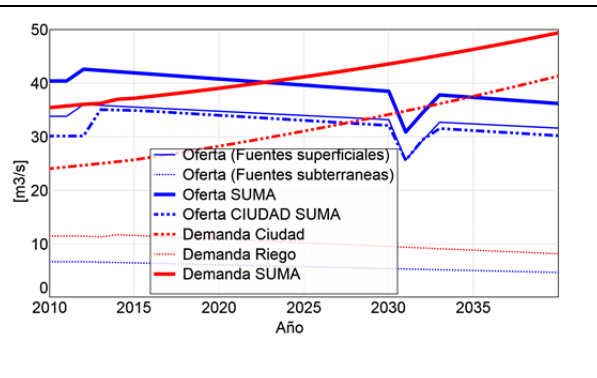
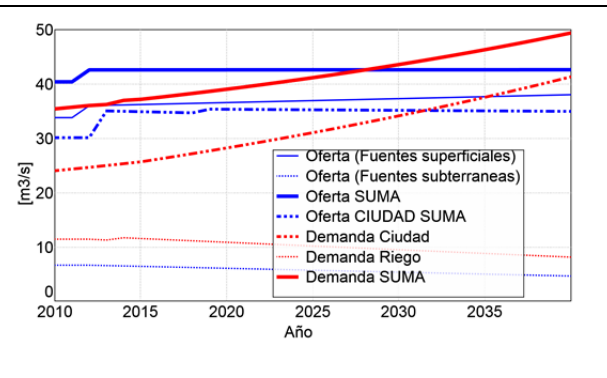


Figura 12: Oferta y demanda escenario A, cambio climático ‘húmedo’ (M1)



e) Resumen de la simulación del escenario A

Tabla 2: Indicadores clave según cálculo con LiWatoool para el escenario A (cambio climático seco)
(Valor para 2040 y promedio de todos los 31 años simulados)

Criterios	Valor para 2040 <i>(entre paréntesis: promedio de todos los 31 años simulados)</i>	Unidad
Consumo ('deseado') por habitante (promedio)	143.5 <i>(151.3)</i>	l/hab/día
Agua potable suministrado	18.87 <i>(18.89)</i>	m ³ /s
Consumo agua potable 'deseado' total	26.1 <i>(20.7)</i>	m ³ /s
Demanda ciudad (domestica y no domestica)	41.3 <i>(41.6)</i>	m ³ /s
Demanda total (incl. riego)	49.4 <i>(41.6)</i>	m ³ /s
Oferta total (incl. ríos etc.)	36.2 <i>(39.1)</i>	m ³ /s
Oferta-demanda	-13.22 <i>(-2.52)</i>	m ³ /s
Ingreso por tarifas	1750.795 <i>(15.10,928)</i>	millones PEN/a
Consumo de energía	184.3 <i>(190.9)</i>	millones kWh/a
Desagües	734.73 <i>(692.09)</i>	millones m ³ /a
Descarga DBO al mar	191.1 <i>(143.8)</i>	toneladas DBO/a

4.2 Escenario B, Lima 2040

“La tragedia de las medidas aisladas”

El Escenario B es fundamentalmente muy similar al Escenario A. Sin embargo, en un entorno adverso, algunos actores han tomado medidas aisladas y actuado con el objetivo de mejorar el sistema de agua de la ciudad de Lima y Callao. Se consideran dos variantes:

B1 “La gestión de cuencas nadando contracorriente”

B2 “La empresa de agua privada como luchador solitario”

a) Gobernanza

En el año 2040, no obstante de presentarse un entorno adverso, **algunos de los actores han tomado la iniciativa** y actuado con el objetivo de mejorar el sistema de agua de la ciudad de Lima y el Callao y asegurar el suministro de agua de la ciudad.



Variante B: “La gestión de cuencas nadando contracorriente”:

En la Variante **B1** se ha desarrollado una **gestión de cuencas hidrográficas integrada**, consensuada y participativa a través de una **autoridad integradora** y el **Consejo de Cuencas** que está a cargo de la elaboración de los planes de gestión de las cuencas. Esto conllevó a que se **protejan mejor las fuentes de aguas** superficiales y subterráneas y se mejore la gestión de los embalses.

Se encuentran en funcionamiento, en adición a las plantas existentes, las plantas de tratamiento de agua potable y los embalses detallados a continuación:

- PTAP Huachipa, segunda etapa
- Huascacocha (Marca IV), desde 2012
- Adicionalmente, más infraestructura (como por ejemplo Marca V y Marca II) pueden ser utilizada en este escenario.

Variante B: “La empresa de agua privada como luchador solitario”:

En la Variante **B2** la gestión de cuencas se da a través de una **autoridad central que depende en su mayor parte del gobierno nacional** y no integra a los actores de la cuenca; al mismo tiempo, la **empresa de agua de Lima y Callao se ha privatizado**. Con estas medidas se ha el **tratamiento y reuso de las aguas residuales**, gracias también a las **tarifas de agua que han sido sinceradas**.

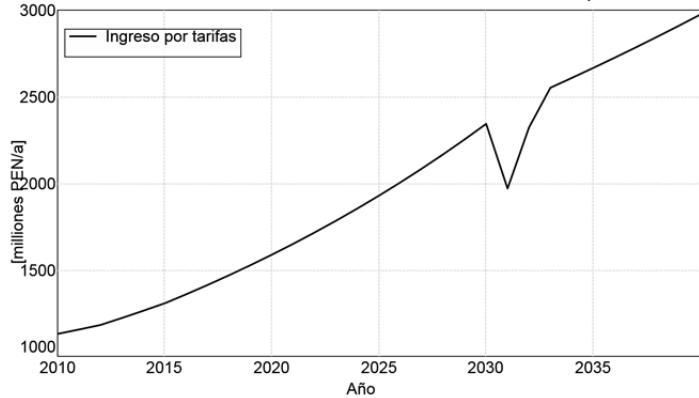


Tarifas: Las tarifas de agua han aumentado a **5.09 PEN/m³** en 2040 (aumento exponencial de 3 % p.a.).

El ingreso generado por tarifas (millones PEN/a) permite realizar inversiones considerables en la infraestructura de agua:

2011: aprox. 1,155 millones PEN/a
 2040: aprox. **2,975 millones PEN/a**

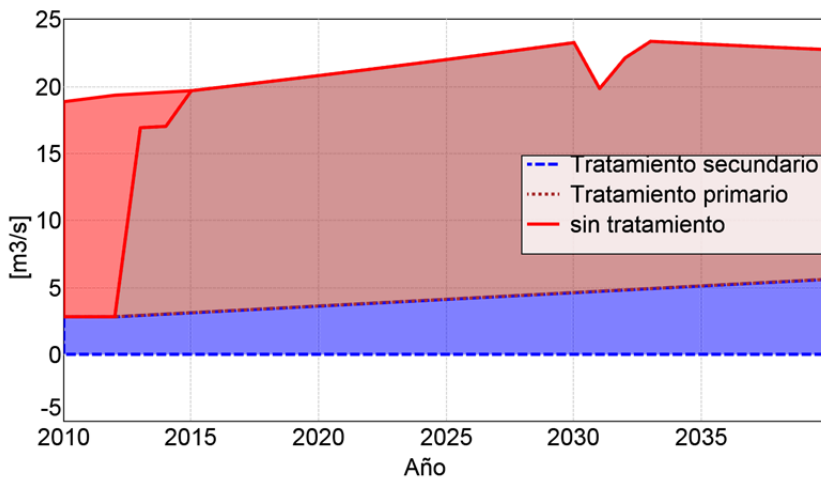
Figura 13: Ingreso por tarifas (escenario B2, cambio climático ‘seco’, dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032.)



Tratamiento y reutilización de aguas residuales

A partir del 2013, las megaplantas *La Taboada* y *La Chira* aseguran un tratamiento de las aguas residuales al menos a nivel primario de **14 m³/s**, aumentando a **20.3 m³/s en el año 2015**. La cantidad de aguas residuales que recibe adicionalmente un tratamiento secundario aumenta de 2.7 m³/s a 5.6 m³/s. De este volumen, en el año 2040, 80 % se reutiliza para el riego de áreas verdes.

Figura 14: Tratamiento de aguas residuales (escenario B2, cambio climático seco)

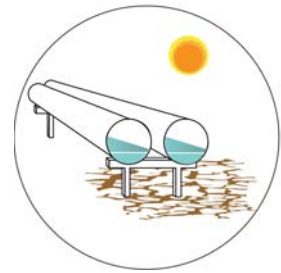


En ambos casos, estos actores actúan aislados y sus medidas se limitan a determinadas áreas del sistema de agua. Las condiciones tanto climáticas como sociales bajo las que operan estos actores crean un entorno adverso, el cual limita adicionalmente el impacto de las medidas individuales en el presente escenario.

Consumo energético del sistema de agua y calidad del agua B1 y B2	
B1	B2
<p>El consumo de energía y también las descargas orgánicas están incrementando en ambos escenarios. En el escenario B1, el descenso del consumo de energía en los años 2031/2032 no es muy profundo porque en este escenario el suministro de agua no se afecta tanto por la sequía en los años 2031 y 2032.</p>	
<p>Figura 15: Consumo energético del sistema de agua (escenario B1, cambio climático 'seco, dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032')</p>	<p>Figura 16: Consumo energético del sistema de agua (escenario B2, cambio climático 'seco, dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032')</p>
<p>Figura 17: Calidad del agua (DBO al mar) (escenario B1, cambio climático 'seco', dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032)</p>	<p>Figura 18: Descarga orgánica (DBO al mar) (escenario B2, cambio climático 'seco', dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032)</p>

b) Cambio climático

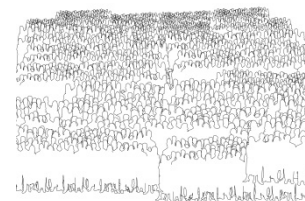
En cuanto al **cambio climático**, la situación no es necesariamente benigna y la tendencia general indica **menos precipitaciones y caudales**, lo cual lleva a una situación tensa y **fuertes episodios de sequía**, con el consecuente incremento de la dependencia de alimentos importados, problemas de salud y desnutrición en la población más vulnerable y las restricciones en el servicio de agua y desabastecimiento en los sectores más empobrecidos de la ciudad.



Cambio climático 'seco': El desarrollo supuesto de precipitaciones y caudal promedio en el período 2011-2050 en relación al promedio observado del 1999-2008 es de **-13 %** (en promedio 29.37 m³/s) (cambio climático 'seco'). Asumimos la aparición de **dos años secos consecutivos de 2031 a 2032**.

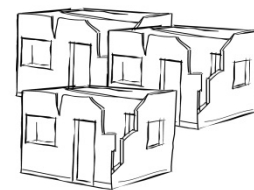
c) Población y territorio

Cerca de **16 millones de personas** que viven en Lima y Callao en 2040 y el suministro de agua para esta población es deficitario. El **consumo de agua per cápita** en los hogares ha **descendido** a causa del crecimiento de la población, principalmente aquella en situación de **pobreza**.



Pobreza: El porcentaje de los habitantes que pertenecen a los dos niveles socio-económicos más bajos de los cinco niveles existentes (NSE); D&E aumenta al **45 %** hasta el año 2040.

El **crecimiento acelerado, sin planificación y control**, tanto horizontal como vertical de la ciudad, ha ocasionado que los servicios y las redes de agua potable no hayan ido en el mismo ritmo de ampliación y se registren recortes de horas de suministro de agua en varios distritos de la ciudad. Por lo general, los nuevos asentamientos humanos se ubican en zonas de difícil acceso dificultando el tendido de nuevas redes de agua.



A pesar de la construcción de parques distritales y bermas durante el crecimiento horizontal de la ciudad, **las áreas verdes públicas** (en promedio) accesibles **decrecen** a aproximadamente **3 m²** por habitante.

A causa de la expansión horizontal descontrolada de la ciudad, por ejemplo la invasión por asentamientos informales en zonas agrícolas y las tierras utilizadas para la construcción privada (los granjeros venden sus terrenos), se ha perdido un gran parte de los **terrenos agrícolas urbanos**: las 13,000 hectáreas (en 2012) **se redujeron a 8,000 hectáreas** (2040).

d) Infraestructura hídrica

El déficit de la infraestructura hídrica se evidencia en el **aumento de las pérdidas de agua** y la **disminución de la cobertura a la red pública de agua potable**.



El porcentaje de la población total que se encuentra **conectado a la red pública de agua** es de **85 %**.

El crecimiento tanto de la población como de la pobreza ha conducido a un aumento de las conexiones clandestinas y, desde el punto de vista técnico, una falta de mantenimiento y rehabilitación de la red de abastecimiento ha conducido a mayores pérdidas físicas. A esto debe sumarse el crecimiento de la ciudad incontrolado y sin planificación, lo cual contribuye a las crecientes pérdidas.

Pérdidas: Agua No Facturada (ANF), que incluyen no solamente pérdidas físicas, pero también, entre otros, robo de agua y conexiones clandestinas llega en el año 2040 en promedio a **40 %**.

Balance hídrico (oferta-demanda) Escenarios B1 y B2 (cambio climático 'seco')

En el escenario B1 la demanda supera la oferta, al fin de la sequía de los años 2031/2031 y después del 2034. Mientras que en el escenario B2 hay una demanda reducida de agua debido a la tarifa sincerada. Por otro lado, el escenario B2 tiene una oferta menor por que se ha asumido que no hayan los reservorios Marca II y Marca V en el escenario B2. Así mismo, en este escenario B2, en el año 2040, el riego de áreas verdes se realiza únicamente con aguas tratadas, por lo tanto hay una demanda casi nula de agua de los ríos y de agua potable para este fin.

Figura 19: Oferta y demanda escenario B1 (cambio climático 'seco' (M3), dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032)

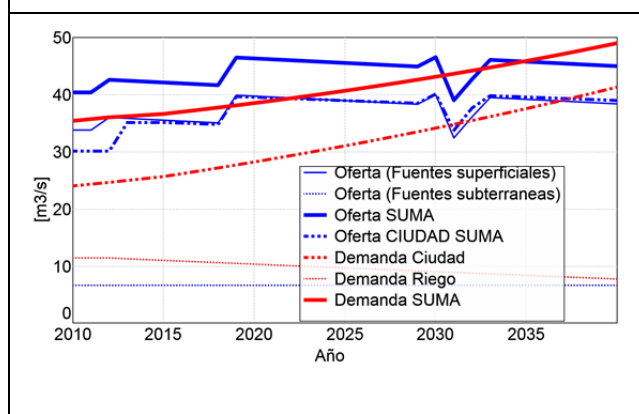
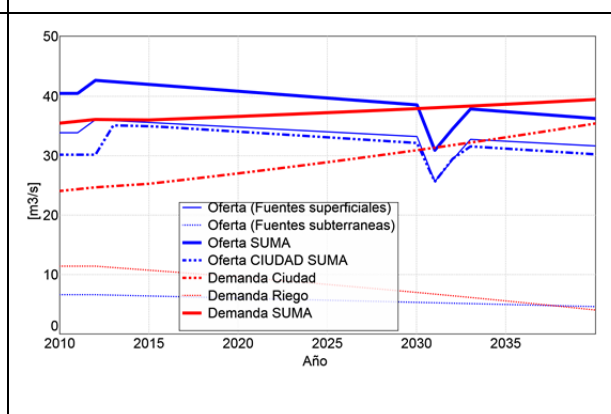


Figura 20: Oferta y demanda escenario B2 (cambio climático 'húmedo' (M1), dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032)



e) Resumen de simulación de escenario B

Tabla 3: Indicadores clave calculados con LiWatool en los escenarios B1 y B2 (cambio climático seco)
(Valor para 2040 y promedio de todos los 31 años simulados)

Criterios	Escenario B1 Valor para 2040 <i>(Promedio de todos los 31 años simulados)</i>	Escenario B2 Valor para 2040 <i>(Promedio de todos los 31 años simulados)</i>	Unidad
Consumo ('deseado') por habitante (promedio)	143.5 <i>(151.3)</i>	123.1 <i>(141.1)</i>	l/hab/día
Agua potable suministrado	24.08 <i>(20.52)</i>	18.98 <i>(18.45)</i>	m ³ /s
Consumo agua potable 'deseado' total	26.14 <i>(20.72)</i>	22.41 <i>(19.16)</i>	m ³ /s
Demanda ciudad (domestica y no domestica)	41.3 <i>(31.6)</i>	35.35 <i>(29.12)</i>	m ³ /s
Demanda total (incl. riego)	49.0 <i>(41.2)</i>	39.4 <i>(37.3)</i>	m ³ /s
Oferta total	45.0 <i>(44.2)</i>	36.1 <i>(39.1)</i>	m ³ /s
Oferta-demanda	- 4.0 <i>(3.0)</i>	- 3.2 <i>(1.8)</i>	m ³ /s
Ingreso por tarifas	2233.705 <i>(1654.256)</i>	2974.658 <i>(1959.961)</i>	millones PEN/a
Consumo de energía	243.0 <i>(211.9)</i>	220.2 <i>(205.4)</i>	millones kWh/a
Desagües	887.5 <i>(740.3)</i>	706.7 <i>(667.0)</i>	millones m ³ /a
Descarga DBO al mar	208.1 <i>(147.5)</i>	167.4 <i>(133.8)</i>	toneladas DBO/a

Escenario C, Lima 2040

“Las oportunidades de los actores al nivel meso “

A pesar que Lima y el Callao sufren un considerable estrés climático y que las condiciones generales de tipo político y socioeconómico tampoco son más favorables que en los Escenarios A y B, el trabajo conjunto de los actores de la escala meso (es decir, del nivel situado entre el gobierno central y las entidades locales) ha podido lograr más para la situación del agua de Lima y el Callao, que la suma de iniciativas aisladas.

a) Gobernanza

En el año 2040, actúan conjunta y concertadamente **los actores de la escala meso** (es decir, del nivel situado entre el gobierno central y las entidades locales): la autoridad de gestión de las cuencas y la empresa privada de agua.

La autoridad de las cuencas hidrográficas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín incorpora a los principales actores usuarios del agua: empresa de agua, empresa de energía eléctrica, industrias, minería, juntas de regantes y usuarios de agua para consumo humano. Se ha logrado asignar agua de manera equitativa y para los diferentes usos. La mayoría de las empresas de actividades extractivas asumen su responsabilidad en el cuidado de las fuentes de agua.



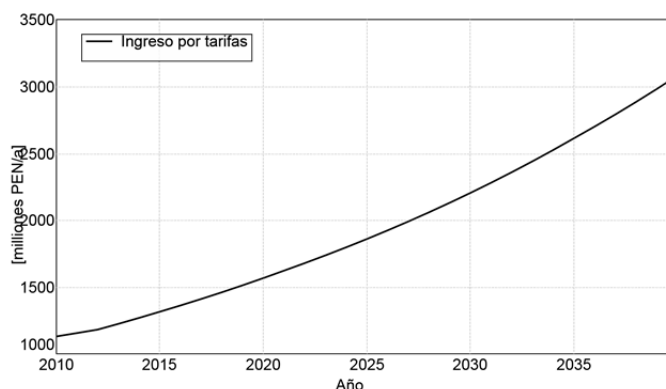
Por otro lado, **la empresa de agua se ha privatizado**. Esto significa que debe atenerse a los criterios de eficiencia de la economía empresarial y de esa manera se ha intentado mejorar la situación, también gracias a las **tarifas de agua** que han sido **sinceradas**.

Tarifas: Las tarifas de agua han aumentado a **5.09 PEN/m³** en 2040 (aumento exponencial de 3 % p.a.).

El ingreso generado por tarifas permite realizar inversiones considerables en la infraestructura de agua. Los ingresos son

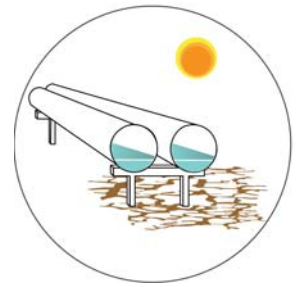
2011: aprox. 1,151 millones PEN/a;
2040: aprox. **3,082 millones PEN/a**

Figura 21: Ingreso por tarifas (escenario C, cambio climático ‘seco’, dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032.)



b) Cambio climático

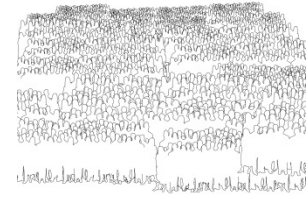
En cuanto al **cambio climático**, la situación no es necesariamente benigna y la tendencia general indica **menos precipitaciones y caudales**, lo cual lleva a una situación tensa y **fuertes episodios de sequía**, con el consecuente incremento de la dependencia de alimentos importados, problemas de salud y desnutrición en la población más vulnerable y las restricciones en el servicio de agua y desabastecimiento en los sectores más empobrecidos de la ciudad.



Cambio climático 'seco': El desarrollo supuesto de precipitaciones y caudal promedio en el período 2011-2050 en relación al promedio observado del 1999-2008 es de **-13%** (en promedio 29.4m³/s) (o sea cambio climático 'seco'). Asumimos la aparición de **dos años secos consecutivos** desde **2031 a 2032**.

c) Población y territorio

La población urbana ha aumentado en las últimas décadas. Son cerca de **13.6 millones de personas** que viven en Lima y Callao y que ha conllevado a un **crecimiento acelerado, sin planificación y control**, tanto horizontal como vertical de la ciudad.



Pobreza: El porcentaje de los habitantes que pertenecen a los dos niveles socio-económicos (NSE) más bajos de los cinco niveles existentes (NSE D y E) permanece al **40.3 %** hasta el año 2040.

La **cobertura** de la red pública de agua potable **se mantuvo constante**; la ampliación de la red pública de agua fue suficiente para mantener la cobertura. Por lo menos una parte de los hogares anteriormente abastecidos por camión cisterna o pileta pública y una parte de viviendas nuevas han podido ser conectadas a la red pública.



El porcentaje de la población total que se encuentra **conectado a la red pública de agua** es de **89 %**.

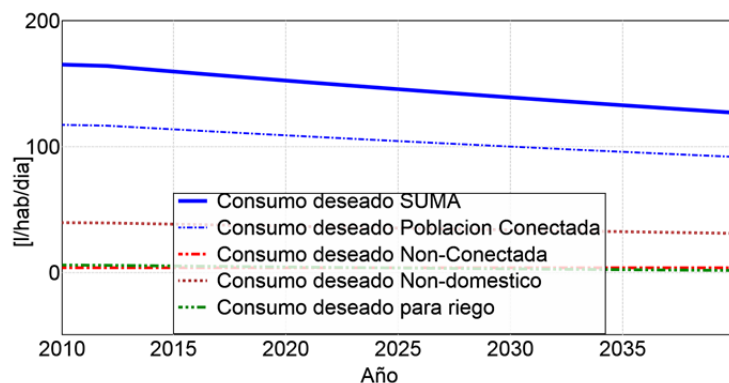
Por otro lado, **las pérdidas de agua en la red han aumentado**, ya que el crecimiento tanto de la población como de la pobreza ha conducido a un **aumento de las conexiones clandestinas**.



Perdidas: Las Aguas No-facturadas (ANF), que incluyen no solamente pérdidas físicas, pero también, entre otros, robo de agua por conexiones clandestinas: 2040 en promedio: **40%**.

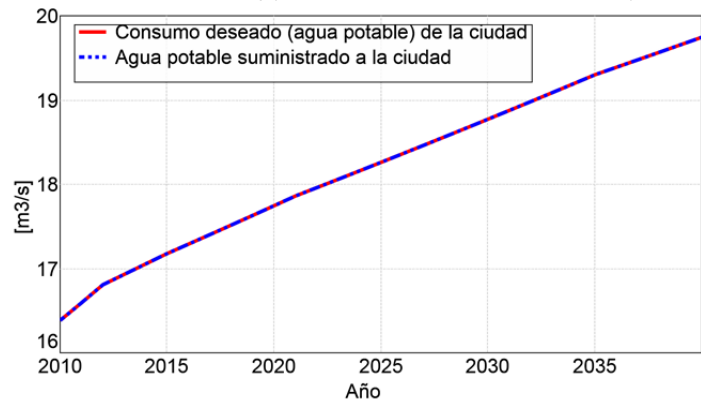
De un lado positivo, el **promedio del consumo de agua per cápita** en los hogares ha descendido a causa de los incentivos para ahorro de agua como son la tarifa de agua sincerada, la sensibilización y concientización de la población sobre los efectos de una sequía así como a la sustitución de agua potable por aguas residuales tratadas para riego.

Figura 22: Consumo ‘deseado’ per habitante y día (escenario C, cambio climático ‘seco’)



Hasta el año 2040 la ciudad puede recibir el agua para el “consumo deseado”.

Figura 23: Consumo agua potable da la ciudad (‘deseado’ y suministrado) (escenario C, cambio climático ‘seco’)



d) Infraestructura hídrica

La infraestructura hídrica **ha mejorado en mayor parte**. Las fuentes de agua disponibles por infraestructura han **incrementado**, gracias a las inversiones en reservorios de agua, plantas de tratamiento de agua potable y redes de distribución.

El volumen de las **aguas subterráneas** a disposición ha permanecido **al 4 m³/s**.

Se encuentran en funcionamiento, en adición a las plantas ya existentes, las plantas de depuración de agua potable y los embalses detallados a continuación:

- PTAP Huachipa, segundo nivel
- Huascacocha (marca IV) (desde 2012)
- Adicionalmente, más infraestructura (como por ejemplo Marca V y Marca II) puedan ser utilizados en este escenario.

Sin embargo, la ampliación de la red ha ido unida con **crecientes pérdidas físicas**, debido a la poca atención que presta la planificación urbana a las necesidades de una red hídrica más eficiente.

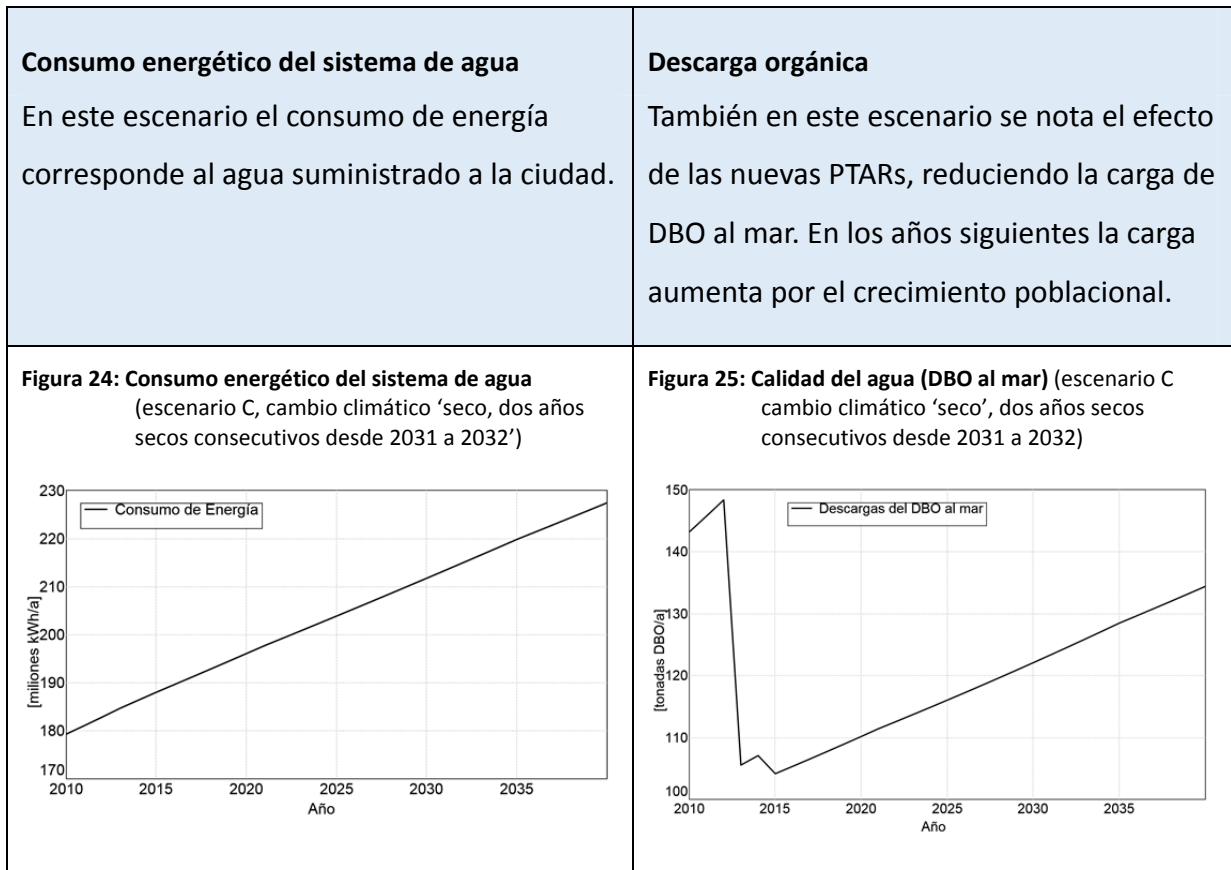
Pérdidas: Agua No Facturada (ANF), que incluyen no solamente pérdidas físicas, pero también, entre otros, robo de agua y por conexiones clandestinas, llega en el 2040 en promedio a **40 %**.

Por otro lado, las inversiones en plantas de tratamiento de aguas residuales lograron **incrementar la cantidad y la calidad del tratamiento de aguas residuales**, incluyendo las que reutilizan en el **riego** de áreas verdes.



Tratamiento y reuso de aguas residuales

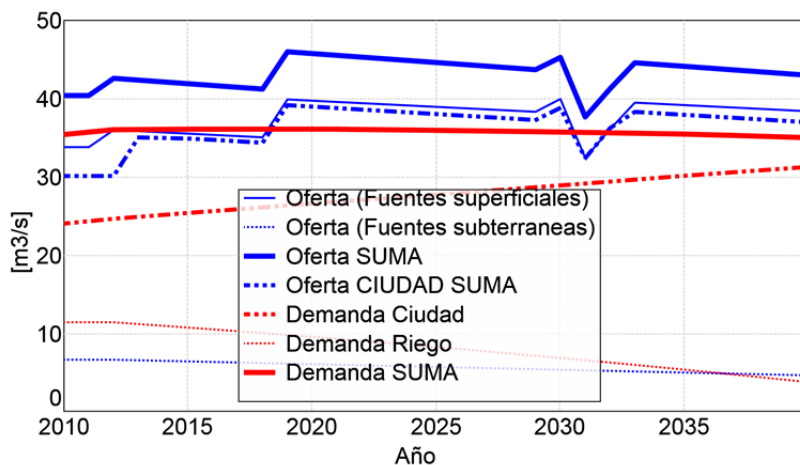
A partir del 2013, las megaplantas *La Taboada* y *La Chira* aseguran un tratamiento de las aguas residuales al menos al nivel primario de **14 m³/s**, **incrementando hasta 20.3 m³/s en el año 2015**. La cantidad de aguas residuales que recibe adicionalmente un tratamiento secundario aumenta de 2.8 m³/s a 5.6 m³/s. De este volumen, en el año 2040 se reutiliza el 80 % para irrigar áreas verdes.



Balance hídrico (oferta-demanda)

Bajo los supuestos de este escenario (Tarifas altas, pobreza incrementa y disminución del consumo de agua por habitante) la demanda es menor a la oferta (con excepción del año 2031 por la sequía). Pero todavía la ciudad no puede obtener la cantidad deseada de agua (ver la comparación de la “Demanda Ciudad” y la “Oferta Ciudad Suma” en la siguiente Fig.).

Figura 26: Oferta y demanda escenario C (cambio climático 'seco', dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032)



e) Resumen de simulación del escenario C

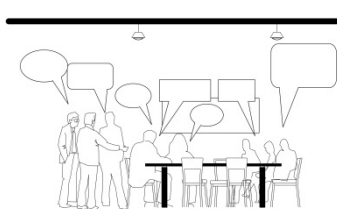
Tabla 4: Indicadores clave calculados con LiWatool en el escenario C (cambio climático ‘seco’)
Valor para 2040 y promedio de todos los 31 años simulados

Criterios	Valor para 2040 <i>(Promedio de todos los 31 años simulados)</i>	Unidad
Consumo (‘deseado’) por habitante (promedio)	125.5 <i>(142.6)</i>	l/hab/día
Agua potable suministrado	19.47 <i>(18.23)</i>	m ³ /s
Consumo agua potable ‘deseado’ total	19.47 <i>(18.23)</i>	m ³ /s
Demanda ciudad (domestica y non-domestica)	31.27 <i>(27.72)</i>	m ³ /s
Demanda total (incl. riego)	35.0 <i>(35.8)</i>	m ³ /s
Oferta total (incl. ríos etc.)	43.0 <i>(43.3)</i>	m ³ /s
Oferta-demanda	7.9 <i>(7.5)</i>	m ³ /s
Ingreso por tarifas	3082.142 <i>(1943.359)</i>	millones PEN/a
Consumo de energía	227.4 <i>(203.8)</i>	milliones kWh/a
Desagües	720.0 <i>(657.8)</i>	milliones m ³ /a
Descarga DBO al mar	134.4 <i>(1210.0)</i>	toneladas DBO/a

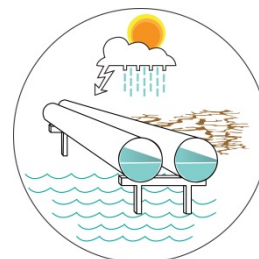
Escenario D, Lima 2040

“Resiliencia al clima por medio de gobernanza”

a) Gobernanza y cambio climático



El suministro de agua de la ciudad de Lima y el Callao, en el año 2040, es **relativamente independiente de los efectos provocados por el cambio climático** gracias a estructuras de **gobernanza fuertes** en todos los niveles (local,



regional y nacional) que han privilegiado la **coordinación, concertación y planificación** como aspectos claves de su accionar, incorporando estrategias de adaptación en sus planes de gestión.

Además porque en los últimos años se han privilegiado el desarrollo y promoción de políticas públicas que benefician la inclusión, la promoción del empleo y se encuentran **orientadas a la lucha contra la pobreza**.

Se cuenta con una **autoridad de las cuencas hidrográficas** de los ríos Chillón, Rímac y Lurín que **incorpora a los principales actores** usuarios del agua: empresa de agua, empresa de energía eléctrica, industrias, minería, juntas de regantes (agricultura) y usuarios de agua para consumo humano. De esa manera se ha logrado elaborar planes de gestión de los recursos hídricos asignando agua de manera equitativa y para los diferentes usos, asegurando así mismo la responsabilidad de las empresas en el cumplimiento de las normas para el cuidado de las fuentes de agua.

Las **tarifas de agua sinceradas** constituyen una herramienta decisiva para la gobernanza del agua de Lima y Callao.

Tarifas: Las tarifas de agua han aumentado a **5.09 PEN/m³** en 2040 (aumento exponencial de 3 % p.a.).

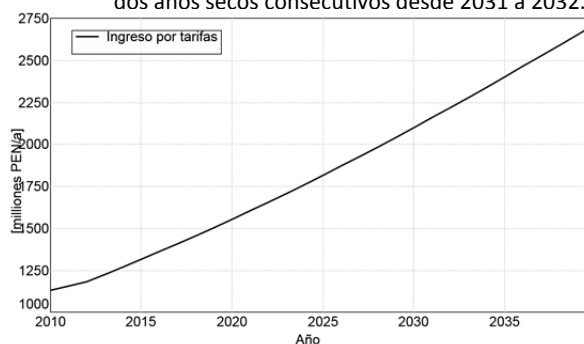
El ingreso generado por tarifas (millones

PEN/a) permite realizar inversiones considerables en la infraestructura de agua:

2011: aprox. 1,155 millones PEN/a;

2040: aprox. **2,717 millones PEN/a**.

Figura 27: Ingreso por tarifas (escenario B2, cambio climático ‘seco’, dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032.)



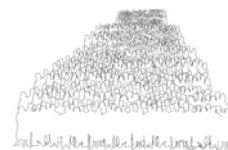
De esa manera, **la empresa de agua abastece con éxito** a la ciudad de Lima y el Callao. Su **forma jurídica es estatal**, pero **opera con autonomía** y se toman decisiones guiándose de criterios técnicos y de eficiencia, de inclusión y equidad social.

Cambio climático:

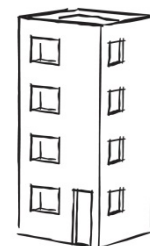
Los futuros desarrollo del cambio climático son inciertos. Los posibles desarrollos de las precipitaciones y el caudal promedio en el período 2011-2050 en relación al promedio observado del 1999-2008 es entre **+ 6%** (en promedio 35.8 m³/s) (o sea variante **cambio climático ‘húmedo’**) y **-13%** (en promedio 29.4m³/s) (o sea variante **cambio climático ‘seco’**). Ya que la ciudad de Lima no puede influir directamente en el cambio climático, ambas variantes climáticas son verosímiles en este escenario. Para la variante “seca”, asumimos que se presentan **dos años secos consecutivos** desde **2031 a 2032**.

b) Población y territorio

Más de **11.5 millones de personas** viven en Lima y el Callao en el año 2040, dado que el **aumento de la población urbana se hizo constantemente más lento**.

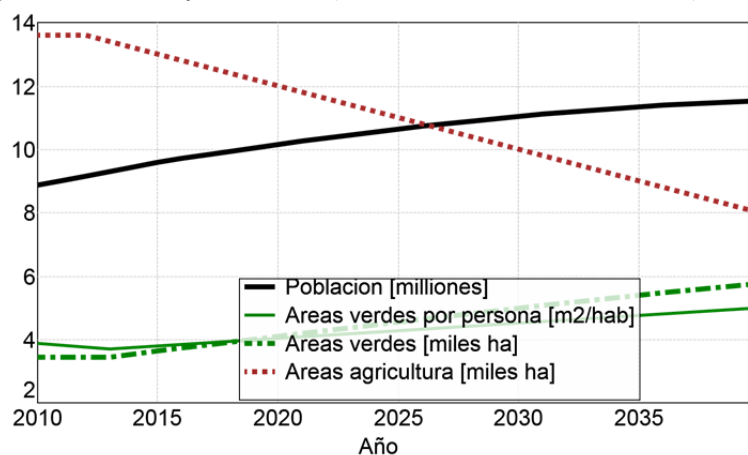


El crecimiento de la ciudad se ha desarrollado de manera ordenada y planificada, considerándose la **planificación urbana** de Lima y el Callao, hoy en día un aspecto importante. Hay **capacidad de dirigir el crecimiento de la ciudad** a través de un plan de desarrollo urbano, por contar con mecanismos de control y fiscalización para el cumplimiento de las normativas. **Se lograron mantener y preservar los valles y los diversos tipos de áreas verdes** en Lima y en Callao, e incluso se han creado nuevos espacios abiertos multifuncionales que **forman parte de la infraestructura ecológica de la ciudad**. Esto se obtuvo adaptando la cobertura vegetal de muchas áreas verdes a las condiciones climáticas y contemplando las diversas fuentes de aguas urbanas, incluyendo las aguas residuales, para de esta manera, cerrar el ciclo del agua. Al mismo tiempo, la protección de valles y áreas verdes se ha convertido en un propósito y, en una herramienta establecida y exitosa de la planificación urbana.



Las áreas verdes públicas (parques metropolitanos y distritales, bermas) accesibles han aumentado promedio a **5 m²** per cápita. **El consumo de agua para irrigación** de estas áreas verde ha sido reducido considerablemente a **1.3 m³/m²/a** desde el año 2025. Se han conservado **8,000 hectáreas** (13,600 hectáreas en el año 2012) de **los terrenos agrícolas urbanos**.

Figura 28: Población y áreas verdes (escenario D, cambio climático 'seco')



Políticas públicas atinadas han sido promovidas por los

gobiernos, conllevando a que la **pobreza** en Lima y el Callao **se haya reducido** claramente durante las últimas décadas.

Pobreza: El porcentaje de los habitantes que pertenecen a los dos niveles socio-económicos más bajos de los cinco niveles existentes (NSE); **D&E** desciende al **30 %** hasta el año 2040.

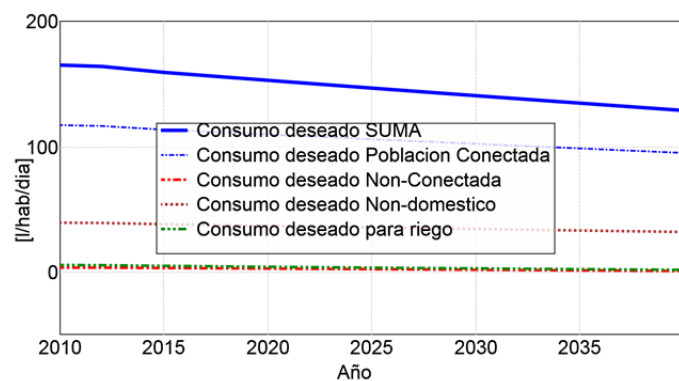
El aumento de la cobertura a la red pública de agua potable es otro indicador que señala el **mejoramiento de la situación socioeconómica** de muchas personas. **La red pública de agua se ha ampliado constantemente** hasta el año 2040 y **se conectaron muchos asentamientos y hogares** que no contaban con ningún acceso a la red pública.



El porcentaje de la población total que se encuentra **conectado a la red pública de agua** es de **98 %**.

Por otro lado, **el promedio del consumo** de agua per cápita en los hogares **ha descendido** a causa de los **incentivos para ahorro de agua** como son **la tarifa de agua sincerada** y la **sensibilización y concientización de la población**.

Figura 29: Consumo 'deseado' por habitante y día (escenario D, cambio climático 'seco')



c) Infraestructura hídrica

Se cuenta con una infraestructura hídrica **bien consolidada** en cuanto a fuentes, plantas de tratamiento y redes.

Las **fuentes de agua** disponibles por infraestructura se **incrementaron** mediante la construcción de represas adicionales y gracias a una gestión mejorada de los embalses. La **construcción adicional de plantas de tratamiento** de agua potable permitió poner más agua a disposición de la población de Lima y el Callao. Al mismo tiempo, se ha promovido el **uso sostenible de las aguas subterráneas**, manteniendo un acuífero disponible a largo plazo como fuente de agua potable.

El volumen de las **aguas subterráneas** a disposición se mantiene constante a **4 m³/s** en el año 2040.

Se encuentran, en adición a las plantas ya existentes, en funcionamiento las plantas de tratamiento de agua potable y los embalses detallados a continuación:

- PTAP Huachipa, segundo nivel
- Huascacocha (Mmarca IV) (desde 2012)
- Adicionalmente, más infraestructura (como por ejemplo Marca II y Marca V) puede ser utilizada en este escenario. En este informe y para los resultados de este escenario se han considerado Marca II y Marca V.

En los planes de mejora del servicio de agua potable para la ciudad de Lima y Callao se ha promovido el mantenimiento y la rehabilitación de las redes existentes de abastecimiento de agua para **disminuir las pérdidas físicas**.



Perdidas: Agua No Facturadas (ANF), que incluye no solamente pérdidas físicas, pero también, entre otros, robo de agua y por conexiones clandestinas, disminuyen al 2040 en promedio a **25 %**.

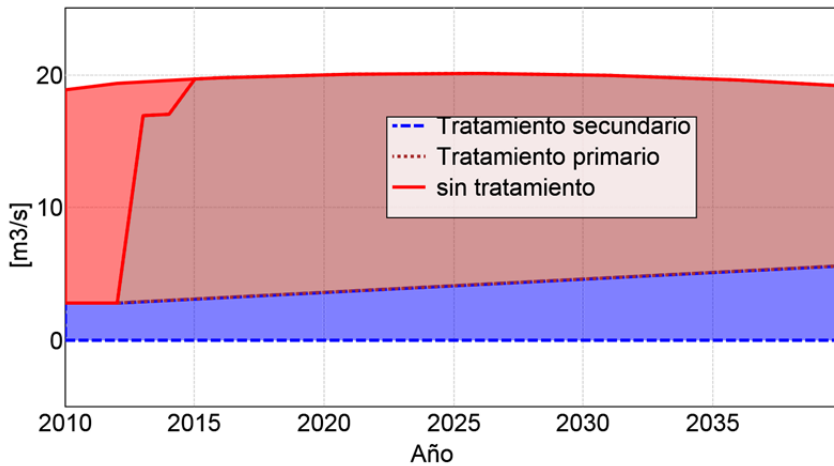
Además, aumentó **la cantidad y la calidad** del tratamiento de las aguas residuales para la reutilización en el riego de áreas verdes.



Tratamiento y reutilización de aguas residuales

A partir del 2013, las megaplantas *La Taboada* y *La Chira* aseguran un tratamiento al menos al nivel primario de **14 m³/s**, **aumentando hasta una capacidad de 20.3 m³/s en el año 2015**. La cantidad de aguas residuales que recibe adicionalmente un tratamiento secundario aumenta de 2.8 m³/s a 5.6 m³/s. De este volumen, el 80% se reutiliza para irrigar áreas verdes en el año 2040. Se nota que en este escenario no se utiliza toda la capacidad de las plantas primarias.

Figura 30: Tratamiento de aguas residuales (escenario D, cambio climático seco)



Consumo energético del sistema de agua

El consumo de energía aumenta lentamente. No se nota ningún efecto de la disminución por la sequía, porque, en este escenario, la sequía no ha afectado el suministro y la disposición de.

Descarga orgánica:

Después de la disminución de las descargas por la implementación de las PTARs (La Chira/Taboada), en este escenario, no se incrementan las descargas. Se disminuyen porque el porcentaje de los desagües que reciben tratamiento secundario (con mayor eficiencia) se incrementa. (Figura 30).

Figura 31: Consumo energético del sistema de agua (escenario D, cambio climático 'seco, dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032')

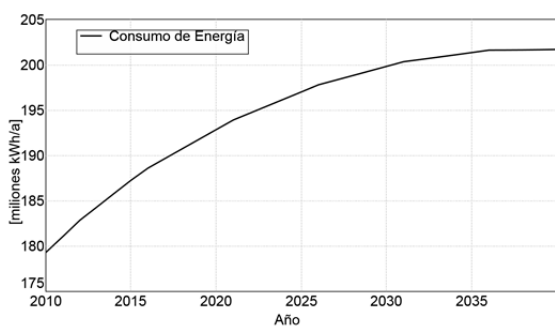
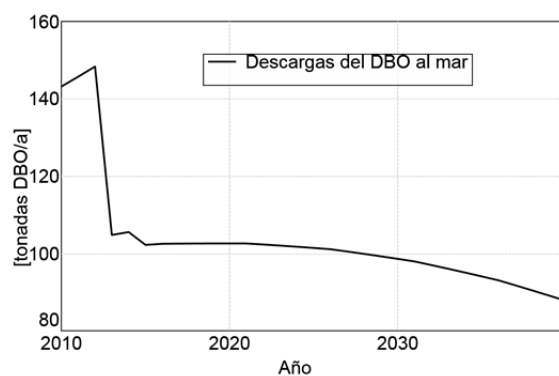


Figura 32: Calidad del agua (DBO al mar) (escenario D cambio climático 'seco', dos años secos consecutivos desde 2031 a 2032)



Balance hídrico (oferta-demanda) (cambio climático “seco” y “húmedo”)

El escenario D es el más amigable de todos. En ambos casos (“seco” y “húmedo”) la demanda es mucho menor que la oferta, y también el suministro del agua para la ciudad es asegurado (también la sequía en el caso “seco” no tiene efectos fuertes en el balance). Se nota que el consumo (de la ciudad así como lo para el riego) disminuye. Se observa el efecto combinado de ahorro de agua, y del incremento de las tarifas por un lado, y del mayor porcentaje de aguas reusadas y de la reducción de las áreas agrícolas.

Figura 33: Oferta y demanda escenario D (cambio climático ‘seco’ (M3))

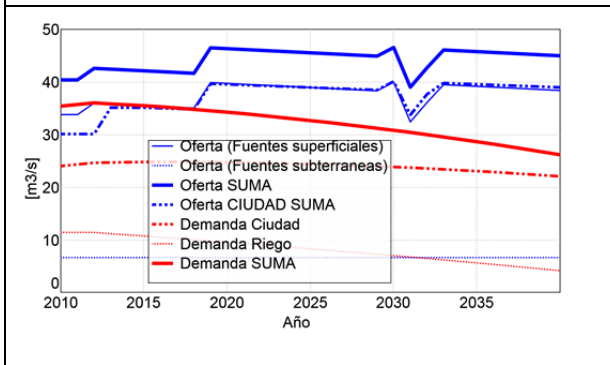
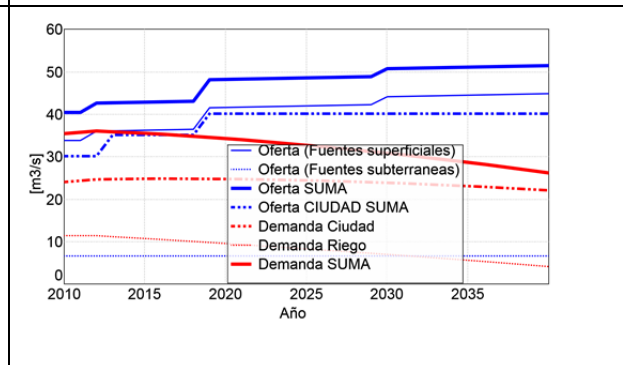


Figura 34: Oferta y demanda escenario D (cambio climático ‘húmedo’ (M2))



e) Resumen de la simulación del escenario D

Tabla 5: Indicadores clave calculados con Liwatool en el escenario D (cambio climático seco)
 Valor para 2040 y promedio de todos los 31 años simulados

Crterios	Valor para 2040 (Promedio de todos los 31 años simulados)	Unidad
Consumo ('deseado') por habitante (promedio)	127.2 (143.5)	l/hab/día
Agua potable suministrado	17.2 (17.4)	m ³ /s
Consumo agua potable 'deseado' total	17.0 (17.3)	m ³ /s
Demanda ciudad (domestica y no domestica)	22.05 (32.14)	m ³ /s
Demanda total (incl. riego)	26.2 (32.1)	m ³ /s
Oferta total	45.0 (44.2)	m ³ /s
Oferta-demanda	18.8 (12.1)	m ³ /s
Ingreso por tarifas	2716.672 (1849.905)	millones PEN/a
Consumo de energía	201.7 (194.8)	millones kWh/a
Desagües	595.2 (613.3)	millones m ³ /a
Descarga DBO al mar	87.7 (103.4)	toneladas DBO/a

5 Vista general de las simulaciones a través de los escenarios

Hipótesis de LiWatool a través de los escenarios:

Tabla 6: Hipótesis clave: valores en 2040 en los escenarios A, B1, B2, C, D (cambio climático seco)

Criterio	Valor en año base (2011)	Escenario 2040					Unidad
		A	B1	B2	C	D	
Población	9,010,331	15,737,210	15,737,210	15,737,210	13,592,497	11,532,565	habitantes
Pobreza/ niveles socio-económicos (NSE)	40.3	45	45	45	40.3	30	Porcentaje de habitantes que pertenecen a los niveles socioeconómicos D+E
	37.1	35	35	35	37.1	45	...al nivel socioeconómico C
	17.5	10	10	10	17.5	20	... al nivel socioeconómico B
	5.1	10	10	10	5.1	5	... al nivel socioeconómico A
Cobertura	89	85	85	85	89	98	Porcentaje de la población con acceso a agua proveniente de la red pública en % (per cápita)
Áreas verdes públicas por persona	3.9	3	3	3	3	5	m ² /cápita
Terrenos agrícolas urbanos	13,600	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	ha
Pérdidas (ANF)	34.58	40	40	40	40	25	% de ANF (Agua no facturada)
Tratamiento de aguas residuales primario (2013) 2015	(14) 20.3	(14) 20.3	(14) 20.3	(14) 20.3	(14) 20.3	(14) 20.3	m ³ /s
Tratamiento secundario	2.8	2.8	2.8	5.6	5.6	5.6	m ³ /s
Reutilización para riego	26.75	26.75	26.75	80	80	80	% de de aguas residuales tratadas (tratamiento secundario) disponibles para el riego
Tarifas (promedio)	2.20	2.94	2.94	5.092	5.092	5.092	PEN/m ³

Cálculos de LiWatool a través de los escenarios:

Tabla 7: Indicadores clave calculados por LiWatool para los escenarios A, B1, B2, C, D (cambio climático seco). Valor para 2040 y promedio de todos los 31 años simulados

Criterios	Valor en año base (2011)	Escenario Valor para 2040 <i>(Promedio de todos los 31 años simulados)</i>					Unidad
		A	B1	B2	C	D	
Consumo de agua 'deseado' por habitante (promedio)	159.1	143.5	143.5	123.1	125.5	127.2	l/hab/día
		(151.3)	(151.3)	(141.1)	(142.6)	(143.5)	
Agua potable suministrado	16.59	18.87	24.08	18.98	19.47	17.2	m ³ /s
		(18.89)	(20.52)	(18.45)	(18.23)	(17.4)	
Consumo agua potable 'deseado' total	16.59	26.1	26.14	22.41	19.47	17.0	m ³ /s
		(20.7)	(20.72)	(19.16)	(18.23)	(17.3)	
Demanda ciudad	24.32	41.3	41.3	35.35	31.27	22.05	m ³ /s
		(41.6)	(31.6)	(29.12)	(27.72)	(32.14)	
Demanda total (incl. riego)	35.71	49.4	49.0	39.4	35.0	26.2	m ³ /s
		(41.6)	(41.2)	(37.3)	(35.8)	(32.1)	
Oferta total	40.39	36.2	45.0	36.1	43.0	45.0	m ³ /s
		(39.1)	(44.2)	(39.1)	(43.3)	(44.2)	
Oferta-demanda	4.68	-13.22	-4.0	-3.2	7.9	18.8	m ³ /s
		(-2.52)	(3.0)	(1.8)	(7.5)	(12.1)	
Ingreso por tarifas	1155.016	1750.795	2233.705	2974.658	3082.142	2716.672	millones PEN/a
		(1510.928)	(1654.256)	(1959.961)	(1943.359)	(1849.905)	
Consumo de energía	181.1	184.3	243.0	220.21	227.4	201.7	millones kWh/a
		(190,9)	(211.9)	(205.42)	(203.8)	(194.8)	
Desagües	593.4	734.73	887.5	706.7	720.0	595.2	millones m ³ /a
		(692.09)	(740.3)	(667.0)	(657.8)	(613.3)	
Descarga DBO al mar	145.7	191.1	208.1	167.4	134.4	87.7	toneladas DBO/a
		(143.8)	(147.5)	(133.8)	(121.0)	(103.4)	

Siglas

ANF	Agua No Facturada
BMBF	Ministerio Federal de Educación e Investigación, Alemania
CIB	Análisis del balance de los impactos cruzados (Cross-Impact-Balance) http://www.cross-impact.de
FCPV	Foro Ciudades para la Vida, Lima, Perú http://www.ciudad.org.pe
FOVIDA	Fomento de la Vida, Lima, Perú http://www.fovida.org.pe
IFAK	ifak Magdeburg e.V. - Instituto de Automatización y Comunicación Magdeburgo http://www.ifak.eu
ILPOE	Instituto de Planificación del Paisaje y Ecología, Facultad de Arquitectura y Planificación Urbana, Universidad de Stuttgart http://www.ilpoe.uni-stuttgart.de
IMP	Instituto Metropolitano de Planificación de la Municipalidad de Lima, Perú http://www.munlima.gob.pe/imp/
IWS	Instituto de Modelamiento de sistemas hidráulicos y ambientales, Departamento de Hidrología y Geohidrología, Universidad de Stuttgart http://www.iws.uni-stuttgart.de
LiWa	Proyecto “Lima Water” – “Gestión sostenible del agua y las aguas residuales en centros de crecimiento urbano afrontando el cambio climático - Conceptos para Lima Metropolitana (Perú)”, financiado por el programa de investigación “Megaciudades del Futuro” del BMBF http://www.lima-water.de
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima http://www.sedapal.com.pe
UFZ	Helmholtz Center for Environmental Research (Centro Helmholtz para la Investigación Medioambiental) http://www.ufz.de
ZIRIUS	Centro de Investigación Interdisciplinaria sobre Gestión de Riesgos e Innovación de la Universidad de Stuttgart http://www.zirius.eu

Anexo

Anexo 1: Definiciones cualitativas de los descriptores

A. Forma de Gobierno: se refiere a la capacidad del gobierno central, los gobiernos regionales y los gobiernos locales para tomar decisiones, fomentar y gestionar la participación de diversos sectores, y elaborar y ejecutar planes a corto, mediano y largo plazo.

B. Empresa de agua y saneamiento: se refiere al modelo de gestión de la empresa de agua y saneamiento (EPS) considerando cuatro criterios: 1) Nivel de autonomía en relación con influencias políticas (independencia técnica), 2) Orientación de la gestión de la empresa (en beneficio del cliente o del gobierno), 3) Responsabilidad social, y 4) Participación de la sociedad civil (en el directorio).

C. Tarifas de agua: se define como el precio que los usuarios pagan por el servicio de agua potable y alcantarillado. En este estudio, tarifa de agua se refiere al servicio que brinda Sedapal a través de la red pública. No se analiza la tarifa que se cobra por el suministro de agua por camiones cisterna u otros sistemas.

D. Demografía: se define como el crecimiento de la población de las provincias de Lima Metropolitana y Callao, que se mide a través de la tasa de crecimiento de la población, determinada por la conjunción de tres factores: la natalidad, la mortalidad y los saldos migratorios.

E. Pobreza urbana: se define a partir de dos aspectos centrales: Pobreza por ingresos y por necesidades básicas insatisfechas (NBI's). Además de estas dos maneras de medir la pobreza también existe la calificación de hogares por niveles socioeconómicos (NSE), estas se dividen en A, B, C, D y E, siendo D y E las familias más pobres. NSE incluye no solo ingresos sino también acceso a servicios básicos como educación, salud, tipo de vivienda.

F. Consumo de agua per cápita: se define como el consumo promedio per cápita y día de la población que cuenta con el servicio de agua potable, ya sea mediante una conexión domiciliaria, una pileta pública o surtidor.

G. Pérdidas en la Red: se define como la suma de las pérdidas físicas (por rupturas/fugas en la red) y las pérdidas no físicas o pérdidas aparentes (por conexiones clandestinas, limpieza de tuberías, uso de grifos contra incendio, uso indebido para riego de áreas verdes y otros), esa suma se mide en lo que se contabiliza como agua no facturada (ANF) en las estadísticas de SEDAPAL. La cantidad de pérdidas se mide por lo tanto restando la ANF de la producción de agua ofrecida por SEDAPAL. Las pérdidas se expresan en porcentaje de la producción.

H. Gestión de las cuencas: se entiende como la forma de como se regula, controla y fiscaliza el uso adecuado de los recursos hídricos, y articula con los actores dentro de una cuenca, a partir de un tipo

de institucionalidad determinada. Los criterios utilizados para hablar de gestión de cuencas son institucionalidad (variación del número de actores y su influencia), distribución del recurso hídrico y grado de control de la contaminación (calidad del recurso).

I. Forma de desarrollo urbano: se entiende como la manera de como la ciudad de Lima y Callao se expande y densifica debido a las dinámicas sociales, económicas, institucionales, tecnológicas, ambientales, etc., las cuales generan diversos usos del suelo en una ciudad con bordes morfológicos marcados y vocación expansiva al mismo tiempo. Dicha forma de desarrollo urbano puede ser caracterizada por una verticalidad, representada por la densificación constructiva a través de la conversión de viviendas unifamiliares en edificios multifamiliares, y una horizontalidad representada por la expansión urbana a través de la ocupación de zonas no urbanizadas y en riesgo, incluyendo además conversión de espacios abiertos (zonas de cultivo, etc.) en nuevas zonas residenciales.

J. Cobertura de Agua: se define como el porcentaje de la población total que se encuentra conectado a la red pública de agua. Se incluye a la cobertura tanto las personas que cuenten con conexiones domiciliarias (dentro o fuera de la vivienda) como las que se abastecen a través de pilones o piletas (definición utilizada por la SUNASS, INEI 2011)

K. Tratamiento y reuso de aguas residuales: se refiere al grado de tratamiento de aguas residuales domésticas y su uso para el riego de áreas verdes y agricultura. El tratamiento se puede dividir en tratamiento primario, secundario y terciario, para poder reutilizar el agua tratada, la misma tiene que recibir al menos un tratamiento secundario. El tratamiento primario es la remoción principalmente física de los sólidos no disueltos, mientras que el secundario remueve los sólidos disueltos, algunos nutrientes y organismos patógenos, principalmente a través de un proceso biológico. Recién la desinfección para remover patógenos se está considerando como tratamiento terciario, mientras que tradicionalmente este nivel correspondía a procesos químicos solo para remover algunos nutrientes excedentes y compuestos químicos contaminantes.

L. Fuentes de agua disponible por infraestructura: se refiere a la cantidad disponible de agua para consumo (reservas y producción), que provienen de diferentes orígenes, como de aguas superficiales o subterráneas. El descriptor se refiere tanto a la infraestructura de almacenamiento de agua, como a la infraestructura para la captación y producción del agua potable.

M. Cambio climático (precipitaciones, caudal y riesgos): describe los efectos en los recursos hídricos que puede ocasionar el cambio climático en las 3 principales cuencas de Lima (Chillón, Rímac y Lurín) y la cuenca alta del Río Mantaro (Marcapomacocha, que es trasvasada al Río Rímac). Los efectos del cambio climático se miden por medio de las precipitaciones en la parte alta de las cuencas (fenómeno natural), y – por estar directamente relacionado con la captación de las lluvias en las

represas y lagunas – los caudales de los ríos que finalmente llegan a la ciudad. Los efectos naturales pueden representar un peligro y causar un desastre en la parte media y baja de la cuenca (por ejemplo huaycos o inundaciones o sequías), dependiendo de las condiciones de vulnerabilidad (física, social, económica e institucional) en que se encuentre la ciudad y su población. Por este motivo el descriptor también describe los efectos que pueden ocasionarse en la parte media y baja, llegando hasta a la ciudad.

Anexo 2: La matriz CIB subyacente a los escenarios (LiWa9.cim)

	A		B			C		D			E			F			G		H		I		J			K		L			M			
	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3	G1	G2	H1	H2	I1	I2	J1	J2	J3	K1	K2	L1	L2	L3	M1	M2	M3	
A Forma de Gobierno																																		
A1 Gobierno con poder de decisión y con visión			0	2	-2	-3	3	-1	0	1	-3	1	2	-2	0	2	0	0	3	-3	3	-3	-1	-1	2	-3	3	3	0	-3	-1	2	-1	
A2 Gobierno sin poder de decisión y sin visión			1	-3	2	3	-3	1	0	-1	2	1	-3	1	1	-2	0	0	-3	3	-3	3	1	1	-2	2	-2	-3	0	3	1	-2	1	
B Gestión de la Empresa de Agua y Saneamiento																																		
B1 Empresa de agua privada	0	0				-3	3	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	-2	2	0	0	0	0	-1	-1	2	-1	1	-3	0	3	-1	2	-1	
B2 Empresa de agua con autonomía del gobierno	0	0				-3	3	0	0	0	-2	0	2	-1	-1	2	-2	2	0	0	1	-1	-2	-1	3	-1	1	3	0	-3	-1	2	-1	
B3 Empresa de agua dependiente del gobierno	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	-1	1	2	0	-2	2	-2	1	0	-1	0	0	0	
C Tarifas de agua y saneamiento																																		
C1 Tarifas no sincerada	0	0	-2	1	1				0	0	0	0	0	0	3	-1	-2	1	-1	0	0	0	0	2	-1	-1	0	0	-1	0	1	0	0	0
C2 Tarifas sincerada	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	-3	1	2	-1	1	0	0	0	0	-2	1	1	-1	1	2	0	-2	0	0	0
D Demografía																																		
D1 Crecimiento de la población alto	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	-2	2	2	1	-3	0	0	3	0	-3	2	-2	0	
D2 Crecimiento de la población medio	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	1	-1	1	0	-1	0	0	2	0	-2	1	-1	0	
D3 Crecimiento de la población bajo	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-2	-1	0	1	0	0	1	0	-1	-1	1	0	
E Pobreza urbana																																		
E1 Pobreza urbana aumenta	-3	3	0	0	0	0	0	2	1	-3				-3	1	2	2	-2	0	0	-3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	
E2 Pobreza urbana se mantiene	-1	1	0	0	0	0	0	1	0	-1				0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	
E3 Pobreza urbana disminuye	2	-2	0	0	0	0	0	-2	0	2				3	-1	-2	-2	2	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	
F Consumo de agua per cápita																																		
F1 Consumo per cápita aumenta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	
F2 Consumo per cápita se mantiene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F3 Consumo per cápita disminuye	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	-2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
G Pérdidas de agua en la red																																		
G1 Pérdidas de agua aumentan	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	2	1	-3	0	0	2	0	-2	0	0	0
G2 Pérdidas de agua disminuyen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	-2	-1	3	0	0	-2	0	2	0	0	0
H Gestión de las cuencas hidrográficas																																		
H1 Gestión de las cuencas con integración	1	-1	0	0	0	-1	1	0	0	0	-1	0	1	-1	0	1	0	0				2	-2	-3	1	2	-2	2	2	0	-2	-1	2	-1
H2 Gestión de las cuencas sin integración	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0				-2	2	2	-1	-1	2	-2	-2	0	2	1	-2	1
I Forma de desarrollo urbano																																		
I1 Ciudad con planificación y áreas verdes	1	-1	0	0	0	0	0	-2	-1	3	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0				-1	0	1	-2	2	1	0	-1	-1	2	-1
I2 Ciudad sin planificación y pocas áreas verdes	-1	1	0	0	0	0	0	2	1	-3	1	0	-1	0	0	0	1	-1	0	0				1	0	-1	0	0	0	0	0	1	-3	2
J Cobertura de agua a la red pública																																		
J1 Cobertura de agua disminuye	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	2	0	-2	-2	0	2	0	0	0	0	-1	1				0	0	0	0	0	0	0	0	
J2 Cobertura de agua se mantiene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	
J3 Cobertura de agua aumenta	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	-2	0	2	2	0	-2	0	0	0	0	1	-1				0	0	0	0	0	0	0	0	
K Tratamiento y reuso de aguas residuales																																		
K1 Tratamiento y reuso de aa.rr. se mantienen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	3	1	0	-1				1	0	-1	0	0	0
K2 Tratamiento y reuso de aa.rr. aumentan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	2	0	0	0	0	3	-3	-2	0	2				-1	1	0	0	0	0
L Fuentes de agua por infraestructura																																		
L1 Fuentes de agua aumentan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	2	-2	-2	0	2	2	-2				0	0	0	
L2 Fuentes de agua constantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	0	1	0	0				0	0	0	
L3 Fuentes de agua disminuyen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	0	3	0	0	0	0	-2	2	3	0	-3	-2	2				0	0	0	
M Cambio climático (caudal de los ríos y riesgo)																																		
M1 Caudal de los ríos excesivo (inundaciones)	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	-3	-1	0	1	1	-1	2	-2	-1	1	2	0	-2	1	-1	-3	1	2				
M2 Caudal de los ríos aumenta sin riesgos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-2	0	2	0	0	2	-1	-1				
M3 Caudal de los ríos bajo (sequías graves)	1	-1	0	0	0	0	0	1	0	-1	2	0	-2	-2	-1	3	0	0	3	-3	-2	2	3	-1	-2	-2	2	-2	-1	3				

Anexo 3: Suposiciones y definiciones de los cálculos con LiWatool

Para las simulaciones presentadas en este documento, se han tomado las siguientes suposiciones:

Suposiciones para los cálculos presentados en este documento:

- **Caudales de los ríos:** estimados como resultados de las investigaciones de modelos globales de circulación y cálculos de precipitación-escorrentía por el instituto IWS.
- **Cambio climático:** los efectos del cambio climático se han considerado en dos aspectos: el desarrollo de los caudales de los ríos (ver arriba) considerando, en unos escenarios, un periodo de sequía (dos años seguidos con caudales bajos, los cuales se han estimado usando probabilidades acumuladas empíricas de los caudales calculados de los modelos globales de circulación, e ha asumido que este periodo de sequia se llevará a cabo en los años 2031 y 2032.
- Capacidad máxima de **aguas subterráneas:** Según los estudios de Alexander Peña (IWS) se asume una capacidad máxima de 4 m³/s.
- **Pérdidas de agua:** es una cantidad difícil para cuantificar. Considerando que no solamente hay pérdidas físicas de agua, sino robo de agua, consideramos aquí el Agua No Facturada (ANF) como pérdida de agua. El valor de ANF se obtiene de las estadísticas (p. e. en las estadísticas de SEDAPAL).
- **Consumo de agua por habitante** por día: Se usan valores diferentes para cada uno de los niveles socioeconómicos (según la experiencia de Sedapal). El consumo de agua por uso no-doméstico (p.e. industrial, comercial) se asume con un factor proporcional del consumo doméstico. Para la generación de aguas residuales, se considera no solamente las aguas residuales de los pobladores, pero también de aguas residuales industriales. Dado que una parte de este no se conoce, se asume un factor en LiWatool, para llegar a la producción de aguas residuales, correspondiente a la información disponible.
- **Tratamiento de aguas residuales:** se asume una reducción de la carga orgánica (tasa de remoción de DBO: 87.93 % para tratamiento secundario (promedio de las plantas existentes de Sedapal); 40 % para tratamiento primario).
- **Áreas verdes y áreas agrícolas:** Tanto las informaciones sobre las áreas como los estimados del consumo específico para el riego fueron obtenidos de los estudios detallados por el Ing. Moscoso y por el instituto ILPOE, usando datos disponibles en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Definiciones de algunos de los criterios calculados

Oferta – demanda: Este valor es la diferencia entre la oferta (incluyendo el agua disponible en los ríos, las aguas subterráneas y las fuentes propias) menos la demanda de estos recursos (de la ciudad y del riego). Un valor positivo de “oferta – demanda” indica que, en suma, hay más agua disponible que demandada. En manera parecida es posible comparar la “Oferta ciudad” (agua disponible de las plantas de tratamiento de agua potable, las aguas subterráneas y las fuentes propias) para el suministro a la ciudad y la “Demanda ciudad” (el agua “deseado” por la ciudad, excluyendo el riego).

Ingreso por tarifas: Como criterio económico, LiWatool calcula (en manera aproximada) los ingresos para la empresa de agua del agua facturada. Para facilitar la evaluación de los escenarios, se usa una tarifa promedio (con varias suposiciones de crecimiento de tarifas mediante series de tiempo). Actualmente en Lima se aplica un sistema de tarifas más complejo (IBT-Increasing Block tariff).

Consumo de energía: El programa calcula (en manera aproximada) el consumo de energía para pozos, bombeo de agua y de aguas residuales, plantas, entre otros. Se asume consumos unitarios (kWh/m^3) calculados usando informaciones del Anuario Estadístico 2011 de Sedapal. De este anuario se ha obtenido mucha información más para las simulaciones.

Descarga DBO al mar: Un criterio útil para describir los efectos de aguas residuales al medio ambiente es la carga de DBO (como carga orgánica) descargada (al fin) al océano. Se estima esta carga por la “producción” (55.26 g DBO por habitante y día) por la población y su remoción mediante las plantas de tratamiento de aguas residuales. En LiWatool, para todos los escenarios, se considera solamente la carga conocida (hay también descargas ilegales y desconocidas).