



**DIFERENCIAS EN EL DISEÑO Y GESTIÓN
DEL CICLO INTEGRAL DEL AGUA EN
CIUDADES COSTERAS, DE INTERIOR,
CLIMAS FRÍOS Y CLIMAS CÁLIDOS.**

**DIFFERENCES IN THE DESIGN AND
MANAGEMENT OF THE INTEGRAL WATER
CYCLE IN COASTAL CITIES, INLAND
CITIES, COLD CLIMATES AND WARM
CLIMATES.**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.**

**Presentado por:
D. RAMÓN JUSTE MARTÍN.**

**Dirigido por:
Dra. D^a MERCEDES CALZADA GARZÓN.**

Alcalá de Henares, a 14 de septiembre de 2021.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	2
3. ANÁLISIS DE LAS CIUDADES SELECCIONADAS.....	4
3.1. El ciclo integral urbano del agua en ciudades costeras frías.....	4
3.1.1. Helsinki (Finlandia).....	4
3.1.2. Oslo (Noruega).....	6
3.1.3. Tallin (Estonia).....	8
3.2. El ciclo integral urbano del agua en ciudades de interior frías.....	10
3.2.1. Lahti (Finlandia).....	10
3.2.2. Moscú (Rusia).....	14
3.2.3. Vilna (Lituania).....	16
3.3. El ciclo integral urbano del agua en ciudades costeras cálidas.....	17
3.3.1. Casablanca (Marruecos).....	17
3.3.2. Sta. Cruz de Tenerife (España).....	20
3.3.3. Singapur (Singapur).....	24
3.4. El ciclo integral urbano del agua en ciudades de interior cálidas.....	29
3.4.1. C.D.México (México).....	29
3.4.2. Dallas (Estados Unidos).....	33
3.4.3. Riyad (Arabia Saudí).....	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5. CONCLUSIONES.....	41
6. BIBLIOGRAFÍA.....	43

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Ciudades analizadas en el presente estudio.....	4
Tabla 2. Tarifa de agua potable y alcantarillado, Helsinki, 2021	6
Tabla 3. Tarifa por trabajos de conexión, Oslo, 2021.....	8
Tabla 4. Tarifa de agua potable y alcantarillado, Oslo, 2021	8
Tabla 5. Tarifa de agua potable y alcantarillado, Tallin, 2021	10
Tabla 6. Recargo por concentración de nitrógeno total en el agua residual, Tallin, 2021..	10
Tabla 7. Tarifa por trabajos de conexión, Lahti, 2021.....	13
Tabla 8. Tarifa de agua potable y alcantarillado, Lahti, 2021.....	13
Tabla 9. Tarifa básica de agua por superficie construida, Lahti, 2021	13
Tabla 10. Tarifa de agua potable y alcantarillado, Vilna, 2021.....	17
Tabla 11. Tarifa de agua potable, Casablanca, 2021.....	20
Tabla 12. Tarifa de alcantarillado, Casablanca, 2021	20
Tabla 13. Tarifa de agua potable, Sta. Cruz de Tenerife, 2021.....	23
Tabla 14. Tarifa de alcantarillado, Sta. Cruz de Tenerife, 2021.....	23
Tabla 15. Tarifa de depuración y/o vertido, Sta. Cruz de Tenerife, 2021.....	24
Tabla 16. Evolución prevista del origen del agua potable, Singapur.....	26
Tabla 17. Tarifa del servicio de agua potable, Singapur, 2021.....	28
Tabla 19. Tarifa del agua industrial, Singapur, 2021.....	28
Tabla 20. Tarifa de agua potable, C.D. México, 2021.....	32
Tabla 21. Tarifa de agua potable y alcantarillado, Dallas, 2021.....	35
Tabla 22. Tarifa de agua potable y alcantarillado, Riyad, 2021.....	37

ABREVIATURAS.

- BAD:** Groupe de la Banque africaine de développement.
- C.D. México:** Ciudad de México.
- CIATF:** Consejo Insular de Aguas de Tenerife.
- DTSS:** Deep Tunnel Sewerage System.
- DWU:** Dallas Water Utilities.
- EDAR:** Estación depuradora de aguas residuales.
- EMMASA:** Empresa Mixta de Aguas de Sta. Cruz de Tenerife, S.A.
- EPA:** Environmental Protection Agency of United States.
- ETAP:** Estación de tratamiento de agua potable.
- HSY:** Helsinki Region Environmental Services Authority.
- IVA:** Impuesto sobre el valor añadido.
- LYDEC:** Lyonnaise des Eaux de Casablanca.
- NWC:** National Water Company.
- OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
- ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- OMS:** Organización Mundial de la Salud.
- ONEE:** Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable.
- ONEP:** Office National de l'Eau Potable.
- OSLO VAV:** Oslo Water and Sewerage Works.
- PAJ:** Tarifa básica fija de agua en Helsinki.
- PUB:** Singapour Public Utilities Board.
- RS:** Riyal Saudí.
- SACMEX:** Sistema de Aguas de la Ciudad de México.
- SEOER:** Société des Eaux de l'Oum Er Rbia.
- UV:** Ultravioleta.

RESUMEN.

En el presente estudio se muestran 12 ejemplos (Casablanca, Marruecos; Dallas, Estados Unidos; Helsinki, Finlandia; Lahti, Finlandia; C.D. México, México; Moscú, Rusia; Oslo, Noruega; Riyad, Arabia Saudita; Sta. Cruz de Tenerife, España; Tallin, Estonia y Vilna, Lituania) de diseño y gestión del ciclo integral urbano del agua en el Mundo. Se pretende dar a conocer su estado actual y cuáles son las líneas de trabajo que se van imponiendo para afrontar el reto del abastecimiento humano de agua en un contexto de cambio climático de consecuencias impredecibles.

1. INTRODUCCIÓN.

Las ciudades concentran cada vez mayor porcentaje de población. Una población que exige unos servicios de calidad y donde la conciencia medioambiental va a tomar, ya lo está haciendo, un lugar preferente. Por eso, un buen diseño y gestión del ciclo integral urbano del agua, que atienda a las características geográficas y climáticas donde se asientan, se ha tornado en uno de los temas más importantes de las grandes agencias internacionales que tienen algo que decir al respecto. Y por eso las ciudades, grandes demandantes de recursos hídricos, son el centro de este estudio.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Para enmarcar este trabajo se han seleccionado ciudades representativas de diferentes escenarios alrededor de todo el Mundo (Ver tabla 1). A continuación se describe con detalle la metodología seguida para hacerlo.

En primer lugar, ha sido necesario concretar una definición de lo que se entiende por “ciclo integral urbano del agua”. Para ello hemos acudido a la definición recogida en la Ley 10/2014, de 27 de noviembre, de aguas y ríos de Aragón (www.boe.es) que, en su artículo 4.k, dice:

“Ciclo integral del agua de uso urbano: conjunto de actividades que conforman los servicios públicos prestados, directa o indirectamente, por los organismos públicos para el uso urbano del agua en los núcleos de población, comprendiendo:

1.º El abastecimiento de agua en alta o aducción, que incluye la captación y alumbramiento de los recursos hídricos y su gestión, incluida la generación de los recursos no convencionales, el tratamiento de potabilización, el transporte por arterias o tuberías principales y el almacenamiento en depósitos reguladores de cabecera de los núcleos de población.

2.º El abastecimiento de agua en baja, que incluye su distribución, el almacenamiento intermedio y el suministro o reparto de agua potable hasta las acometidas particulares o instalaciones propias para el consumo por parte de los usuarios.

3.º El saneamiento o recogida de las aguas residuales urbanas y pluviales de los núcleos de población a través de las redes de alcantarillado municipales hasta el

punto de intercepción con los colectores generales o hasta el punto de recogida para su tratamiento.

4.º La depuración de las aguas residuales urbanas, que comprende la intercepción y el transporte de las mismas mediante los colectores generales, su tratamiento y el vertido del efluente a las masas de agua continentales o marítimas.

5.º La regeneración, en su caso, del agua residual para su reutilización.”

Seguidamente, para la selección de las ciudades por tipos de clima frío o cálido hemos acudido a la clasificación del clima de Köppen y Geiger, por ser la más usada y aceptada a nivel internacional. Para su definición hemos visitado la página web del Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra (meteo.navarra.es). La clasificación del clima de Köppen y Geiger se basa en el tipo de vegetación existente en cada territorio y su adaptación a unas condiciones climáticas determinadas. Divide los climas del Mundo en cinco grandes grupos: Tropical, seco, templado, continental y polar, que identifica con una letra mayúscula. A continuación, dentro de cada grupo, diferencia subgrupos en función del régimen de precipitaciones y les asigna, igualmente, una letra minúscula. Finalmente, se asigna otra letra en función de las temperaturas. Para la toma de datos de tipo de clima de cada una de las ciudades hemos utilizado el portal web de Climate-data.org (es.climate-data.org).

La selección final de las ciudades estudiadas ha tenido en cuenta la disponibilidad de información accesible, de modo que, en la mayoría de los casos, hemos acudido a ciudades capitales de Estado, como Riyad, Oslo o Singapur. Al tratarse de grandes ciudades, en algunos casos metrópolis, ha resultado una tarea muy complicada encontrar información referente a la ciudad central. Es el caso de Casablanca, C.D.México, Moscú, Dallas y Helsinki, por lo que en estos casos, los datos están referidos al área metropolitana.

Se ha tenido que acudir, en muchas ocasiones, a artículos de prensa locales para poder conseguir datos de caudales y capacidad de las instalaciones de tratamiento de agua.

Tabla 1, Ciudades analizadas en el presente estudio.

Clima frío costero	Clima frío interior	Clima cálido costero	Clima cálido interior
Helsinki	Lahti	Casablanca	C.D. México
Oslo	Moscú	Sta Cruz de Tenerife	Dallas
Tallin	Vilna	Singapur	Riyad

Fuente: elaboración propia.

3. ANÁLISIS DE LAS CIUDADES SELECCIONADAS.

3.1. El ciclo integral urbano del agua en ciudades costeras frías.

3.1.1. Helsinki (Finlandia).

Helsinki es una ciudad costera que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Dfb, que corresponde con un clima frío. La temperatura media es de 6,1° C y la precipitación es de 730 mm/año.

El área metropolitana de Helsinki cuenta con una población de 1,2 millones de habitantes, que consumen una media de 158 litros/día. La Helsinki Region Environmental Services Authority (HSY) (www.hsy.fi) es el organismo responsable de la gestión del ciclo del agua. Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

En Finlandia, las entidades que suministran el agua son públicas y adquieren el formato de sociedades anónimas o empresas municipales (Juuti & Rajala, 2021). El Ayuntamiento de la ciudad (www.hel.fi) recoge en su página web que el agua se toma del lago Päijänne. Otro lago, el Hiidenvesi, sirve de apoyo en momentos de escasez. Tras recorrer una distancia de 120 kms por un túnel excavado en la roca, el agua llega a dos plantas potabilizadoras, ubicadas en Pitkälampi (168.000 m³/día) y Vanhakaupunki (120.000 m³/día), desde donde se distribuye al área urbana. La red de suministro de agua tiene unos 1.250 kms y el agua se almacena en depósitos elevados. Se consumen una media de 245.000 m³/día.

Las aguas de lluvia se gestionan independientemente de las aguas residuales. Existen canalizaciones para dirigir las hacia cauces naturales y zonas de recreo, como parques y jardines (www.hel.fi).

Las aguas residuales son dirigidas, a través de una red de 1.140 kms, a la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Viikinmäki, que gestiona todas las aguas residuales domésticas e industriales de la ciudad, unos 250.000 m³/día. La práctica totalidad de la depuradora ha sido excavada bajo la roca. El agua, una vez tratada, es enviada, por medio de una tubería de 16 km, al fondo marino. Los lodos son aprovechados para generar calor y electricidad en la planta depuradora. También se usan como abono una vez desecados.

En la web de HSY se dan consejos y advertencias sobre los problemas de congelación de las tuberías y contadores de agua. Se recomienda proteger las instalaciones y contadores en las propiedades particulares, de las cuales son responsables los propietarios de las mismas.

Los laboratorios de HSY llevan a cabo un control rutinario de la calidad de las aguas distribuidas. Anualmente se realizan 50.000 análisis.

Existen 4 tipos de tarifas:

- Tarifa de construcción: es el precio de las obras de conexión de las parcelas urbanas a las redes de agua potable, alcantarillado y drenaje de aguas pluviales.
- De conexión a la red: Se cobra al usuario para poder unirse a la red. Se cobra en función de los m² que tenga la construcción. El precio unitario de la tarifa de conexión es de 4,96 €/m² (impuesto incluido del 24%).
- Básica: Se cobra al cliente en función del tipo de propiedad (piso, vivienda unifamiliar, edificio de oficinas,...) y del área ocupada.

Además, existe una tarifa básica (PAJ) de aguas pluviales, que varía en función de la ubicación de la propiedad (en un área de drenaje de aguas pluviales, en un área de drenaje mixto o conectada al área de drenaje de la HSY). Para el cálculo de la PAJ se aplica la cantidad de 0,02 €/m²/mes (impuesto 24% incluido).

- De uso del agua: Se cobra al cliente en función del consumo (€/m³) medido en el contador de entrada y se aplica un impuesto de 24% (tabla 2):

Tabla 2, Tarifa de agua potable y alcantarillado, Helsinki, 2021.

Servicio	Tarifa (€/m ³)
Potable	1,53
Residual	1,79

Fuente: a partir de *julkaisu.hsy.fi*.

3.1.2. Oslo (Noruega).

Oslo es una ciudad costera que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Dfb, que corresponde con un clima frío. Su temperatura media anual ronda los 5,9° C y la precipitación es de 1.010 mm/año.

Oslo cuenta con una población de unos 700.000 habitantes, que consumen aproximadamente 180 l/persona/día (XYLEM, 2020) y hay una previsión de alcanzar los 900.000 en los próximos años (NIRAS, 2018). El organismo responsable del ciclo del agua es la Oslo Water and Sewerage Works (OSLO VAV) (www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop). Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

Las fuentes de abastecimiento son dos lagos cercanos a la ciudad (Maridalsvannet y Elvaga), de donde se extraen alrededor de 110 millones de m³/año. La capacidad de extracción de estos lagos está en 120 y 13,8 millones de m³/año, respectivamente. De modo que el recurso de los lagos como fuente de abastecimiento está bastante ajustado, sobre todo teniendo en cuenta la expectativa de crecimiento poblacional de los próximos años. Existe una larga lista de restricciones alrededor de estas dos fuentes de agua.

El agua se potabiliza en dos estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP):

- Oset: 250.000 m³/día. Abastece al 90% de la población.
- Skullerud: 30.136,98 m³/día. Abastece el 10% restante, en el Este de la ciudad.

Existe una enorme dependencia de la planta de Oset, de lo cual son conscientes los gestores del ciclo del agua de Oslo. De modo que está en marcha la construcción de una línea de abastecimiento alternativa de reserva. Se va a tomar agua del lago Holsfjorden, al Oeste de la ciudad. A través de túneles se llevará el agua hasta una planta potabilizadora que se construirá en la localidad de Husebyskogen. Desde aquí se conectará con la red ya existente que proviene de Oset. Está previsto que el proyecto esté concluido en 2028.

Asimismo, el sistema de distribución actual es muy deficitario, con pérdidas que superan el 35 %. De modo que, debido a estas pérdidas, la previsión del aumento de la población y lo ajustado del recurso agua en estos momentos, el Ayuntamiento está renovando los 1.550 kms de tuberías de agua potable, con el fin de reducir las fugas en un 20% para 2030. Además, están informatizando todas las instalaciones para tener un mayor control del ciclo del agua. Todo ello de la mano de la empresa NIRAS. El sistema de distribución cuenta con 29 estaciones de bombeo y 20 depósitos, que permiten llevar el agua a toda la ciudad.

Para la descripción de la red de aguas residuales acudimos al informe que ha realizado la ciudad de Oslo para optar al premio de “Capital Europea Verde”, de la Comisión Europea (*ec.europa.eu*). La red de aguas residuales tiene una longitud de 2.350 km., de los cuales el 57% son de sistema combinado (aguas residuales junto a aguas pluviales) y el 43% restante es una red separada para cada tipo de agua. Cuenta con 57 estaciones de bombeo y 11 balsas de retención. La depuración se realiza en dos plantas depuradoras:

- Bekkelaget: Está siendo remodelada y ampliada. Supuestamente, una vez finalizadas las obras tendrá una capacidad de 691.200 m³/día. Está construida bajo tierra.
- Vestfjorden: 273.972,6 m³/día. También está construida bajo tierra.

La primera planta pertenece a la municipalidad de Oslo y está gestionada por una empresa privada (Bekkelaget Vann AS, BEVAS). La planta de Vestfjorden pertenece a 3 municipios (Røyken, Nesodden y Oslo), siendo Oslo el que posee el 70,5% de la titularidad. En el año 2008 se construyó una planta de tratamiento de agua de lluvia

adosada a la planta principal, que se utiliza en momentos de máxima avenida. El agua depurada se vierte al Océano Atlántico.

Durante el proceso de tratamiento de los lodos de las depuradoras se produce biogás, que en el año 2015 alimentaba el 15% de la flota de autobuses y camiones de recogida de basura de la ciudad.

El precio de los servicios relacionados con el agua se compone de los siguientes elementos (ver tablas 3 y 4) (tipo de cambio aplicado: 1 Corona Noruega = 0,098 €):

Tabla 3, Tarifa por trabajos de conexión, Oslo, 2021.

Servicio	Tarifa (€/m ² de parcela)
Agua potable	8,27 €
Agua residual	8,27 €

Fuente: a partir de www.oslo.kommune.no.

Tabla 4, Tarifas de agua potable y alcantarillado, Oslo, 2021.

Concepto	Tarifa (€/m ³)
Agua	3,88
Alcantarillado	1,95

Fuente: a partir de tariffs.ib-net.org.

3.1.3. Tallin (Estonia).

Tallin es una ciudad costera que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Dfb, que corresponde con un clima frío. Su temperatura media anual ronda los 6,5° C y la precipitación es de 702 mm/año.

La ciudad se encuentra situada en el Golfo de Finlandia y tiene una población de 393.222 habitantes, que consumen una media de 53.000 m³/día (122,8 l/persona/día, en 2014). Está dentro de las 4 finalistas para ser considerada como “Capital Verde Europea, 2023”, por la Comisión Europea (ec.europa.eu). El organismo responsable de la gestión del ciclo del agua AKTSIASELTS TALLINNA VESI (www.tallinnavesi.ee) está formado por un consorcio público-privado, encabezado por la empresa UU Tallinn BV, que posee el 35,5% del accionariado; el Ayuntamiento de la ciudad posee el 34,7%, y el resto cotiza en bolsa. Todos los

datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

Las fuentes de abastecimiento de la ciudad son el lago Ülemiste, del que obtiene el 88% del agua que consume, y el resto son aguas subterráneas. Las aguas subterráneas se bombean desde 78 pozos. El agua se trata en la estación potabilizadora de Ülemiste (60.000 m³/día). El sistema de distribución cuenta con 980 km de tuberías y 6 depósitos de agua. Las pérdidas de agua en la red son del 16%.

La red de alcantarillado tiene 830 km de tuberías, que cubren la totalidad de la población de la ciudad. Cuenta con un sistema separativo de aguas pluviales, que supone el 65% del total (534 km). El agua de lluvia se lleva a los canales del parque Kadriorg, donde hay rebosaderos hacia el mar. Se está mejorando el sistema de gestión de las aguas de lluvia para minimizar el riesgo de contaminación del mar Báltico.

Mediante 100 estaciones de bombeo se lleva el agua residual a la planta depuradora. El tratamiento del agua se realiza en la depuradora de Paljassaare (capacidad de 72.000 m³/día). El agua depurada se vierte en la bahía de Tallin, por medio de una tubería profunda de 3 km de longitud.

Durante el proceso de digestión de los lodos se genera biogás, que es utilizado para calentar las instalaciones de la depuradora. Los lodos, una vez desecados, se mezclan con turba y son distribuidos como abono a gestores autorizados o bien utilizados como relleno de terrenos.

La calidad del agua que se consume en la ciudad se monitorea desde su origen, tanto la superficial como la subterránea, hasta que llega a los grifos de los usuarios finales. Para ello, el gestor del servicio cuenta con laboratorios propios acreditados.

Las tarifas de los servicios (incluyen impuestos) relacionados con el agua se puede ver en la tabla 5:

Tabla 5, Tarifa de agua potable y alcantarillado, Tallin, 2021.

Servicio	Viviendas (€/m³)	Industria (€/m³)
Tarifa agua potable	0,61	2,15
Aguas residuales	0,91	1,97

Fuente: a partir de www.tallinnavesi.ee.

Existe un recargo tarifario en las aguas residuales, que depende de la carga contaminante del agua vertida. Sirva de ejemplo la concentración total de Nitrógeno, cuyo recargo se puede ver en la siguiente tabla (tabla 6):

Tabla 6, Recargo por concentración de nitrógeno total en el agua residual, Tallin, 2021.

Nitrógeno total (mg/l)	Tarifa (€/m³)
126-145	0,25
146-165	0,33
166-185	0,57
186-205	0,98
206-225	1,8

Fuente: a partir de www.tallinnavesi.ee.

Este sistema constituye un incentivo que penaliza a las empresas más contaminantes y favorece la renovación de equipos obsoletos.

3.2. El ciclo integral urbano del agua en ciudades de interior frías.

3.2.1. Lahti (Finlandia).

Lahti es una ciudad de interior que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Dfb, que corresponde con un clima frío. Su temperatura media anual ronda los 5° C y la precipitación los 691 mm/año. Se encuentra ubicada a 108 km al norte de Helsinki, a orillas del lago Vesijärvi. La ciudad ha sido elegida como “Capital Verde Europea, 2021” por la Comisión Europea (<https://greenlahti.fi>). Está considerada como la ciudad con el mejor agua de grifo del Mundo.

Lahti Aqua Oy (www.lahtiaqua.fi) es una empresa pública, propiedad del Ayuntamiento de Lahti, que se encarga de la gestión del ciclo del agua en la ciudad. Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web

del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente. Esta empresa tiene tres filiales que se encargan de diferentes aspectos del ciclo del agua:

- Aqua Palvelu Oy: Se encarga de la distribución de agua potable y de la recogida de las aguas residuales.
- Aqua Verkko Oy: Es la responsable de las instalaciones de potabilización y depuración de agua.
- Labio Oy: se encarga de la gestión de los residuos biológicos y lodos de depuradora. Durante el proceso de tratamiento de lodos se genera biogás, que utilizan en su flota de vehículos o lo comercializan a través de su socio Gasum Oy. También se produce compost, utilizado para abono.

La ciudad tiene 119.068 habitantes, que consumen una media de 181 litros diarios (para todos los usos). Es decir, la demanda diaria de agua es de unos 21.551 m³/día. Obtiene la totalidad del agua que consumen de las formaciones subterráneas situadas bajo el sistema montañoso de Salpausselkä, una de las reservas más grandes del país. Se calcula que la producción diaria de este acuífero en la zona de Lahti es de 100.000 m³ (<https://greenlahti.fi>), suficiente para abastecer a toda la ciudad.

Existen 10 pozos de toma de agua para abastecimiento, cuyas profundidades oscilan entre los 10-15 m. El agua captada es de muy buena calidad y sólo se somete a un pequeño tratamiento de desinfección con cloramina y rayos ultravioletas (UV). Asimismo, se realiza un afino del pH hasta valores de 7,5-8.

Hay una política muy férrea de protección de las aguas subterráneas en la zona de captación:

- No se pueden instalar depósitos subterráneos de combustibles y los que hay están cartografiados.
- Todas las empresas deben tener permisos medioambientales y son controladas para evitar contaminaciones.
- Todas las corrientes de aguas superficiales han sido cartografiadas.
- Los biocidas están prohibidos, salvo casos especiales. Se están probando sustancias inocuas para tratar plagas.
- Se han llevado varias acciones de descontaminación de suelos en la ciudad.

La red de distribución de agua está formada por unos 2.115 km de tuberías y 6 torres de agua, que mantienen la presión del sistema. Se han mejorado mucho el control y detección de fugas, que suponen el 7,1 % del total (la media en Finlandia está en el 20%). Hay casi 70 estaciones de monitoreo para medir el consumo de agua. Al mismo tiempo, se lleva a cabo una política para fomentar la reducción en el consumo, consistente en la mejora de los contadores, detección de fugas, políticas tarifarias y concienciación.

Lahti cuenta con un sistema separativo de aguas residuales (767 km de tuberías) y de lluvia (454 kms), que está en ampliación. Anualmente se tratan unos 12,3 millones de m³ de aguas residuales. Unas 300 estaciones de bombeo movilizan el agua hasta las 3 plantas de depuración que existen en la ciudad, donde es sometida a un tratamiento convencional:

- Kariniemi: capacidad de 17.260 m³/día. Está ubicada en unas instalaciones bajo tierra.
- Ali-Juhakkala: capacidad de 15.068 m³/día.
- Nastola: capacidad de 2.740 m³/día.

El agua tratada es posteriormente llevada a los tanques de compensación de la planta de tratamiento de Nikula, donde pasa varios días y es sometida a un tratamiento de desinfección con UV. Finalmente, es vertida al río Porvoonjoki, el cual, gracias a este tratamiento final con UV ha mejorado mucho sus condiciones naturales.

Tanto el agua potable como el agua residual son sometidas a constantes controles de calidad. Semanalmente se toman 90 muestras de las aguas residuales (www.lahtiaqua.fi).

El precio del agua está integrado por varios elementos:

- Cuota de conexión: Se cobra a los nuevos abonados y depende de los metros cuadrados construidos de la vivienda que se quiere conectar. En la tabla 7 se resumen los datos (impuesto 24% incluido).

Tabla 7, Tarifa por trabajos de conexión, Lahti, 2021.

Tipología vivienda	tarifa fija (€)
viviendas < 150 m ²	4.749,2
viviendas de 150-250 m ²	5.704
Edificios de viviendas unifamiliares, adosadas y de apartamentos < 400 m ²	7.588,8

Fuente: a partir de www.lahtiaqua.fi.

- **Tarifa de consumo:** Se cobra por los m³ consumidos (ver tabla 8) (impuestos 24% incluidos). Si la vivienda no tiene contador se hará una valoración estimada del consumo y se agregará una tarifa suplementaria de 200 €:

Tabla 8, Tarifa de agua potable y alcantarillado, Lahti, 2021.

Servicio	tarifa (€/m ³)
agua potable	1,45
agua residual	2,29

Fuente: a partir de www.lahtiaqua.fi.

- **Tarifa básica:** Se cobra en función de los m² construidos de la vivienda. En la tabla 9 se recoge un resumen de los precios (impuesto 24% incluido):

Tabla 9, Tarifa básica de agua por superficie construida, Lahti, 2021.

Tipo de vivienda	tarifa básica (€/año)	tarifa básica (€/m ² /año)
Viviendas < 150 m ²	118,07	
Viviendas de 150-250 m ²	128,8	
Edificios de viviendas unifamiliares, adosadas y de apartamentos < 400 m ²	150,29	
Otros edificios residenciales > 400 m ²		0,45
Edificios de servicios e industriales (Mínimo 121,2 €/año)		0,32

Fuente: a partir de www.lahtiaqua.fi.

3.2.2. Moscú (Rusia).

Moscú es una ciudad de interior que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Dfb, que corresponde con un clima frío. Su temperatura media anual está en 5,7° C y la precipitación en los 678 mm/año.

El organismo responsable de la distribución de agua potable es “Mosvodokanal” (www.mosvodokanal.ru), una empresa pública propiedad del Gobierno de la ciudad. Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

Mosvodokanal da servicio de agua potable y saneamiento a unos 15 millones de personas en Moscú y su área metropolitana. Para ello, cada día distribuyen alrededor de 2,85 millones de m³ de agua. Se estima que un ciudadano moscovita consume unos 135 l/día.

Las fuentes de abastecimiento, según la página oficial del ayuntamiento de Moscú (www.mos.ru) son exclusivamente superficiales:

- Río Moscova: donde se localizan dos estaciones de potabilización:
 - Rublyovskaya: con una capacidad de 850.000 m³/día.
 - Zapadnaya: con una capacidad de 1,2 millones de m³/día (Rodríguez, 2021).
- Río Volga: El agua se lleva a la ciudad a través del conocido como “canal de Moscú” (125 kms de longitud), que parte del embalse de Ivankovo. De este río se nutren otras dos potabilizadoras (Vostochnaya y Severnaya).
- Río Vazuzskaya: Se utiliza como sistema de reserva para periodos de sequía.

La capacidad de producción de todas las fuentes de abastecimiento es de 6,7 millones de m³/día.

Una red de 15 embalses, entre ellos el Istrinskoye, Mozhaiskoye, Ruzskoye y Ozerninskoye almacenan el agua suficiente para las necesidades de la ciudad. Una red de canales y otras infraestructuras hidráulicas, permiten la conexión en red de todo el sistema. Asimismo, el sistema de distribución actual está formado por 13.232

kms de tuberías, 520 estaciones de bombeo, así como depósitos de almacenamiento de agua potable.

La red de alcantarillado suma 9.000 kms y la capacidad de las 2 depuradoras de la ciudad es de 7,3 millones de m³/día. Kuryanovo, la de mayor capacidad y recientemente ampliada, cuenta con una capacidad de 4,3 millones de m³/día y Lyuberetskiye con 3 millones. Los lodos desecados durante el proceso de depuración se depositan en vertedero.

La ciudad cuenta con una red separativa de aguas pluviales, que tiene una longitud de más de 8.000 kms. Cuenta, asimismo, con sus propias plantas de clarificación y un equipo de buceo especializado (*www.mos.ru*).

Tanto el sistema de distribución de agua potable como el de recogida de aguas residuales son antiguos y necesitan ser renovados. En el conjunto del país la media de pérdidas de agua en el sistema de distribución de agua potable puede llegar al 60% (Primin, 2018).

Las aguas, una vez depuradas, se vierten al río Moscova. Como dato interesante cabe reseñar que desde 1998, debido al cambio climático, la precipitación en Moscú se ha venido reduciendo en un 4-5% anual. De modo que, en el año 2020, el agua tratada por las instalaciones de depuración se ha reducido en un 66% con respecto a su valor de diseño original (Primin, 2020).

Para garantizar la calidad del agua servida, Moscú cuenta con laboratorios acreditados que llevan a cabo muestreos diarios, desde el punto de toma hasta la salida de la planta depuradora. Existen 250 puntos de control de agua en toda la ciudad. Se analizan de forma continua 184 indicadores fco-químicos y biológicos. Solo en 2020 se realizaron más de 2,5 millones de pruebas sobre la calidad del agua de la ciudad. A pesar de todo, recientes informes demuestran que, tanto la calidad del agua del grifo como la del río Moscova, están por debajo de los estándares internacionales (Ritter, 2018).

El precio genérico de los servicios relacionados con el agua para el segundo semestre de 2021 es (Tipo de cambio aplicado: 1 rublo= 0,012 €):

- Para el agua potable 0,52 €/m³ (impuestos incluidos).
- Para el alcantarillado, 0,38 €/m³ (impuestos incluidos).

En la página web del organismo gestor se pueden consultar con mayor detalle las tarifas, que varían en función del distrito moscovita donde se habite.

3.2.3. Vilna (Lituania).

Vilna es una ciudad de interior que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Dfb, que corresponde con un clima frío. Su temperatura media anual ronda los 7° C y la precipitación los 764 mm/año.

La empresa pública Vilniaus Vandeny (www.vv.lt) es la responsable de la gestión del agua de la ciudad, a través de una Junta General de Accionistas, formada por entidades municipales y provinciales. Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

La ciudad de Vilna cuenta con una población de 540.119 habitantes (2021), que consumen unos 93.000 m³/día. El agua que se consume es subterránea y se localiza en un acuífero cuaternario de gravas y arenas en el valle del río Neris, sobre el que se localiza la ciudad, y cuyas reservas calculadas alcanzan los 500.000 m³/día.

La ETAP de Antaviliai suministra agua potable a la ciudad. Esta estación recoge agua de 4 campos de pozos situados en el acuífero cuaternario, contando con un total de 78 pozos excavados a profundidades de entre 40 y 245 m. El agua se distribuye por medio de un sistema de tuberías de 1.700 km (IUGS-GEM, 2015).

El agua residual de la ciudad llega a la estación de Sereikiskes. El agua tratada asciende a unos 111.000 m³/día (IUGS-GEM, 2015). El Banco Europeo de Inversiones (www.eib.org) está financiando un proyecto de mejora de la red de aguas residuales y de la planta de depuración, valorado en 44 millones de euros. El

proyecto debería estar finalizado en 2023 y para entonces la capacidad de tratamiento sería de 160.000 m³/día. Con este proyecto se pretende, además, centralizar la recogida de aguas residuales que, hasta ahora, se vierten sin tratamiento en muchos lugares. Así, mejorará también la calidad del agua del medio receptor, que en el caso de la ciudad de Vilna es el río Neris.

El gestor del agua de la ciudad ha lanzado una campaña para que la ciudadanía consuma agua de grifo (www.vandensjega.lt), como estrategia para acabar con las botellas de plástico, evitando así la generación de residuos.

El precio del agua se puede ver en la tabla 10:

Tabla 10, Tarifa de agua potable y alcantarillado, Vilna, 2021.

Servicio	Pisos (€/m ³)	Vivienda unifamiliar (€/m ³)
Suministro de agua potable y gestión residuales	1,36	1,28
Cuota mensual	Con contador propio	0,68
	Contador del proveedor	1,08
	Sin contador	0,68

Fuente: a partir de www.vv.lt.

Cabe destacar que no se grava con una tarifa mayor a los usuarios que no cuentan con contador de agua. Lo que se hace, simplemente, es asignarles un consumo promedio sobre la base del agua potable consumida en la ciudad. De este modo, no se favorece el consumo responsable del agua, ni se incentiva la colocación del contador.

3.3. El ciclo integral urbano del agua en ciudades costeras cálidas.

3.3.1. Casablanca (Marruecos).

Casablanca es una ciudad costera que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Bsh, que corresponde con un clima de estepa local. Su temperatura media anual ronda los 18° C y la precipitación los 324 mm/año.

Casablanca es una de las ciudades más importantes de Marruecos, primera plaza financiera del país y con un enorme tráfico marítimo. Cuenta con una población en su área metropolitana de 4,3 millones de personas, distribuidas en 13 localidades.

La gestión del ciclo del agua está en manos de Lyonnaise des Eaux de Casablanca (LYDEC) (*client.lydec.ma*), una filial marroquí de la empresa francesa SUEZ. Es un conglomerado de varias empresas (SUEZ, Environnement, 51%; RMA Watanya, 15%, y Fipar-Holding, 20% y el 14% restante cotiza en bolsa) que gestiona el ciclo del agua en una parte de la región del Gran Casablanca, por medio de una concesión de 30 años. Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

La ciudad consume unos 506.630 m³/día procedente de varios orígenes:

- Aguas superficiales: suponen el 98% del total. De ellas:
 - La Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable (ONEE) proporciona agua proveniente de dos presas:
 - Presa de Sidi Mohamed Ben Abdellah, río Bou Regreg (37%).
 - Presa de Daourat, en el río Oum Rbia, (30%).
 - La Société des Eaux de l'Oum Er Rbia (SEOER) gestiona la presa de Sidi Saïd Mâachou, en el río Oum Er Rbia (31%).
- Aguas subterráneas: Proviene de 3 pozos, propiedad de LYDEC:
 - Ain Dissa, Tit Mellil y Sidi Moussa Ben Ali (2%), que poseen un puesto de tratamiento y cloración in situ.
- Aguas desaladas: Planta de desalación (en construcción) con una capacidad de 821.918 m³/día, debería estar operativa en 2027. Su construcción liberaría a la ciudad de la dependencia de las aguas superficiales, sometidas a mucho estrés y en clara disminución (Al Arbi, 2021).

El agua se potabiliza en varias plantas:

- Oum Azza: propiedad de la Office National de l'Eau Potable (ONEP), que cuenta con una capacidad de 432.000 m³/día (BAD, 2020).
- Bou Regreg: con capacidad para 777.600 m³/día. (*www.onep.ma*)
- Daourat: 492.480 m³/día, según datos de L'Agence du Bassin Hydraulique d'Oum Er Rbia (*www.abhoer.ma*).
- Fouarat: 112.320 m³/día, según datos de L'Agence du Bassin Hydraulique du Bouregreg et de la Chaouia (*www.abhbc.com*).
- Sidi Saïd Maachou: 172.800 m³/día (*www.abhoer.ma*).

Todas ellas abastecen a las poblaciones ubicadas en el eje Rabat-Casablanca-El Yadira. No se ha podido diferenciar la producción específica que cada una deriva a Casablanca.

La red de distribución cuenta con 5.950 km de tuberías. El sistema tiene un rendimiento de 76%. Se está trabajando para reducir las fugas y mejorar la eficiencia, con vistas a lograr una mejora del rendimiento al 80% en los próximos años.

El agua residual se recoge mediante una red de 5.592 km de tuberías y 116 estaciones de bombeo. Además, cuentan con 102 depósitos de tormentas, que recogen agua de lluvia, con una capacidad de 1 millón de m³ aproximadamente. El agua se lleva hacia 3 estaciones de depuración:

- Eaucean: 251.900 m³/día. Vierten al Océano Atlántico.
- El Hank: 234.720 m³/día. Vierten al Océano Atlántico.
- Médiouna: con una capacidad de 3.800 m³/día, vierte sus aguas al río Hassar.

Para atender los posibles desbordamientos en las zonas de expansión urbana, LYDEC está liderando la realización de 3 proyectos (Guendouli, 2021):

- Galería de almacenamiento de aguas pluviales de Hay Sadri: con capacidad para 14.000 m³. Ya está operativa.
- Sistema de saneamiento de la Carretera Nacional 1: Es un sistema separativo de aguas pluviales y residuales, que debería haber entrado en funcionamiento el pasado mes de Julio de 2021.
- Reforzamiento del colector de aguas pluviales “Delure”, construyendo un colector nuevo de 1,2 km; 3,2 a 4,4 m de ancho y una altura de 2,4 m.

Los análisis del agua potable se llevan a cabo en los laboratorios LABELMA, que pertenecen al gestor del servicio, LYDEC. Hay 176 puntos de muestreo y se realizan una media de 85.000 análisis al año.

El precio del agua está regulado por el decreto ministerial n°: 3651.16, de 23 de diciembre de 2016. Se fija por la Comisión Delegada de Seguimiento de la Gestión, compuesta por la Autoridad Delegada, el Ministerio de Interior y LYDEC. Las

tarifas del agua potable y del saneamiento (no incluyen impuesto del 7%) las hemos tomado de la ONEP (www.onep.ma) y se pueden ver en las tablas 11 y 12 (Tipo de cambio aplicado: 1 Dirham= 0,095 €):

Tabla 11, Tarifa de agua potable, Casablanca, 2021.

Tipo de facturación	Consumo mensual (m ³)	Tarifa (€/m ³)
Progresiva	1 a 6	0,28
	7 a 12	0,57
Selectiva	1 a 20	0,57
	1 a 35	1,07
	> 35	1,57
Tarifa fija	-	0,76

Fuente: a partir de *client.lydec.ma*.

Tabla 12, Tarifa de alcantarillado, Casablanca, 2021.

Tipo de facturación	Consumo mensual (m ³)	Tarifa (€/m ³)
Progresiva	1 a 6	0,03
	7 a 12	0,09
Selectiva	1 a 20	0,17
	1 a 35	0,21
	> 35	0,24
Tarifa fija	-	0,67

Fuente: a partir de *client.lydec.ma*.

La tarifa progresiva se aplica a consumos menores de 12 m³/mes, mientras que la selectiva se aplica a consumos mayores de esa cantidad.

3.3.2. Sta. Cruz de Tenerife (España).

Santa Cruz de Tenerife es una ciudad costera que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Bsh, que corresponde con un clima de estepa local. Su temperatura media anual es de 18,5° C y la precipitación de 281 mm/año.

Esta ciudad se encuentra en la isla de Tenerife, la cual, debido a su reducido tamaño, no cuenta con aguas superficiales de consideración y estas se reducen a torrenteras de no más de 20-25 kms de longitud (iAgua, 2020).

EMMASA (www.emmasa.es) es la gestora del ciclo integral del agua de la ciudad. El Ayuntamiento de la capital y la multinacional Sacyr-Vallehermoso son los integrantes de esta sociedad mixta. Todos los datos que se muestran en este apartado han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

La ciudad cuenta con varias fuentes de agua para su abastecimiento:

- El 30% lo compra a propietarios privados de pozos y galerías (perforaciones subhorizontales con ligera caída hacia la boca) de la isla.
- El 70% proviene de recursos propios (galerías, pozos y agua desalada).

El agua desalada supone el 62% del total del agua servida (40.000 m³/día) y se obtiene por la técnica de ósmosis inversa en una planta desaladora ubicada en la dársena pesquera de Santa Cruz de Tenerife.

Se abastece a una población de 209.000 habitantes, que consumen unos 123 litros/persona/día (2017). Para ello, cuenta con 38 depósitos de almacenamiento, con una capacidad de 204.000 m³ y una red de distribución de unos 1.000 km de longitud. Por medio de 10 estaciones de bombeo se mantiene la presión óptima de servicio. Finalmente, antes de la entrega del agua, se cuenta con 40 puntos de cloración, que garantizan la desinfección en el suministro. El porcentaje de pérdidas de agua está en torno al 10%.

El agua residual se recoge en una red de alcantarillado de más de 800 km. 12 estaciones de bombeo llevan el agua a la EDAR “Buenos Aires”, en el polígono industrial “Costa Sur”. Según información de la página web del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (www.miteco.gob.es) la EDAR “Buenos Aires” está siendo ampliada (se firmó el contrato de adjudicación de la obra el 30/11/2018 y tiene un plazo de ejecución de 30 meses) para tener una capacidad de

55.000 m³/día. Esta EDAR cuenta con una línea de producción de agua regenerada que se utiliza, para riego de jardines, baldeo de calles y riegos agrícolas. Esta última en manos de la entidad pública BALTEN, que se encarga de la gestión de las aguas regeneradas de la isla (CIAFT, 2018). El agua residual que no se reutiliza se vierte al océano a través de un emisario submarino.

Durante el proceso de depuración se generan lodos, que se llevan a vertedero una vez han sido desecados. También se produce biogás que, actualmente, es quemado y eliminado a la atmósfera. Está previsto que en la remodelación prevista, citada con anterioridad, se construya una planta de cogeneración que pueda aprovechar el biogás para uso interno de la planta (BOE, 2017).

Está previsto que la gestión de la desaladora y de la EDAR de Buenos Aires pasen a manos del Cabildo de Tenerife, a través del Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIAFT) (Día, 2020).

En caso de lluvias existe un tanque de tormentas, con capacidad para 1.500 m³, que permite laminar los caudales de llegada a la EDAR y evita desbordamientos.

Para garantizar la calidad del agua potable EMMASA realiza en sus laboratorios análisis diarios, tanto fco-químicos como microbiológicos. En cuanto a las aguas residuales, EMMASA cuenta con más de 130 puntos de toma de muestras en alcantarillado y más de 190 puntos de control de vertidos. Finalmente, en las aguas regeneradas se realizan más de 300 análisis al año.

Las tarifas que se pagan en la ciudad por los servicios relacionados con el agua son las siguientes:

- Tarifa de consumo domestico: Incluye 3 conceptos:
 - Cuota de servicio: Por estar enganchado a la red. Se factura en función del diámetro del contador y es bimestral.
 - Consumo de agua potable: Hay una tarifa normal y otra para familias numerosas.

- Cuota de mantenimiento del contador: se factura en función del diámetro del contador y es bimestral.
- Tarifa de consumo no doméstico: incluye los 3 conceptos del apartado anterior pero con precios diferentes.
- Tasas de alcantarillado: Incluye 2 conceptos:
 - Cuota de servicio de alcantarillado: Por tener conexión a la red. Se factura en función del diámetro del contador instalado y es bimestral.
 - Cuota variable de alcantarillado: Se factura en función del consumo mensual.
- Tasa de depuración y/o vertido: incluye 2 conceptos:
 - Cuota de servicio de depuración y/o vertido: Se factura en función del diámetro del contador instalado y es bimestral.
 - Cuota variable de depuración y/o vertido: Se factura en función de los metros cúbicos consumidos.

Las tablas 13, 14 y 15 muestran un resumen de las tarifas:

Tabla 13, Tarifa de agua potable, Sta. Cruz de Tenerife, 2021.

Bloque de consumo (m³)	Uso doméstico general (€/m³)	Uso doméstico familia numerosa (€/m³)	Uso no doméstico (€/m³)
0 a 10	0,43	0,43	0,64
11 a 20	0,54	0,54	1,05
21 a 40	1,36	1,36	2,61
41 a 60	1,68	1,36	2,61
más de 60	2,16	1,47	2,61

Fuente: a partir de www.emmasa.es.

Tabla 14, Tarifa de alcantarillado, Sta Cruz de Tenerife, 2021.

Diámetro contador (mm)	Cuota del servicio (€/bimestre)	Cuota variable de alcantarillado (€/m³)
<13	2,26	
13-40	9,18	0,22
> 40	22,38	

Fuente: a partir de www.emmasa.es.

Tabla 15, Tarifa de depuración y/o vertido, Sta. Cruz de Tenerife, 2021.

Diámetro contador (mm)	Cuota del servicio (€/bimestre)	Cuota variable depuración/ vertido (€/m ³)
<13	1,56	
13-40	6,50	0,16
> 40	15,74	

Fuente: a partir de www.emmasa.es.

3.3.3. Singapur (Singapur).

Singapur es una ciudad costera que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Af, que corresponde con un clima tropical. Su temperatura media anual ronda los 27° C y la precipitación los 2.366 mm/año.

El organismo responsable del ciclo del agua en la ciudad es el Singapur Public Utilities Board (PUB) (www.pub.gov.sg). Es un organismo público que depende del Ministerio de Sostenibilidad y Medio Ambiente. Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

La ciudad se asienta en una isla de 729 km². Las abundantes precipitaciones y una topografía adecuada permiten almacenar el agua en embalses, suponiendo un recurso vital para la vida en la ciudad. La población es de unos 5,8 millones de habitantes y consumen diariamente 1.627.550 m³. El 45% del agua consumida es para abastecimiento de la población, unos 141 l/persona día (2018). El resto es para usos industriales y no domésticos.

Las fuentes de abastecimiento de Singapur son:

- Aguas superficiales: Cuenta con una red de 17 embalses que recogen el agua de lluvia. Los de más antigua creación (MacRitchie, Lower Peirce, Upper Selatar, así como el Upper Peirce, más moderno) se encuentran en la Reserva Natural “Central Catchmen”, que ocupa 2.880 Ha. y es una zona de protección de seguridad para evitar contaminaciones de las fuentes de agua.

Uno de los embalses más significativos es el conocido “Marina Barrage”, con una superficie de 243 Ha, construido literalmente en la desembocadura del Canal Marina en el océano. Cumple una triple misión de almacenamiento de agua, control de inundaciones y atractivo turístico.

Para potabilizar el agua existen las siguientes plantas:

- Chestnut Avenue: Con capacidad para 546.000 m³/día.
 - Choa Chu Kang: 302.800 m³/día.
 - Woodleigh: 200.000 m³/día.
 - Lower Seletar: 227.100 m³/día.
 - Bedok Avenue: 136.000 m³/día.
 - Bukit Timah: (no se han encontrado datos).
- Agua importada: Por medio de un acuerdo comercial con el Gobierno de la ciudad de Johor (Malasia), Singapur puede tomar hasta 946.250 m³/día del río Johor para su abastecimiento. Este hecho le genera a Singapur gran incomodidad y dependencia en sus relaciones comerciales con Malasia (Chew, 2019).
 - Agua desalada: 5 plantas desaladoras:
 - Singspring: capacidad para 140.000 m³/día.
 - Tuas South: 320.000 m³/día.
 - Tuaspring: 140.000 m³/día.
 - Keppel Marina East: 137.000 m³/día. Es de reciente construcción. Puede trabajar con agua dulce y con agua marina.
 - Jurong Island: 137.000 m³/día. Es de reciente construcción.
 - Agua regenerada (proyecto NEWater): Este proyecto pretende llegar a regenerar toda el agua residual de la ciudad. Para ello, se están sustituyendo antiguas plantas de depuración por plantas más modernas, que implementan tratamientos terciarios como ósmosis inversa, UV, microfiltración, etc. Además, son más reducidas en tamaño, lo que permite liberar suelo para nuevos usos, algo fundamental en una isla. En la actualidad hay 4 plantas de regeneración de agua y una que está en construcción:
 - Bedok Newater: 86.000 m³/día.
 - Kranji Newater: 40.000 m³/día.

- Ulu Pandan Newater: 150.000 m³/día.
- Changi Newater: 228.000 m³/día.
- Tuas Newater: 800.000 m³/día (en construcción). Dentro del proyecto “Deep Tunnel Sewerage System” (DTSS), que veremos a continuación. Tendrá una línea para agua residual urbana, que se reciclará para su uso a través del sistema de Newater (650.000 m³/día) y otra línea para agua industrial (150.000 m³/día), que se reciclará para su nuevo uso industrial.

El agua regenerada se usa para procesos industriales y para mezclar con el agua recogida en los embalses para su posterior potabilización (uso potable indirecto planificado).

En la tabla 16 podemos ver la evolución prevista de las distintas fuentes de agua en el abastecimiento de la población:

Tabla 16, Evolución prevista del origen del agua potable, Singapur.

Fuente/año	2020 (%)	2060 (%)
Agua de lluvia	20	15
Agua importada	25	0
Newater	30	55
Agua desalada	25	30

Fuente: a partir de www.pub.gov.sg.

Antes de su distribución el agua se almacena en depósitos, donde pasa varios días y se somete a pruebas de calidad.

El agua residual es depurada hasta estándares oficiales respetuosos con la normativa internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Para ello existen varias plantas de depuración:

- Changi: con una capacidad de 900.000 m³/día. Del agua resultante, una parte se vierte al océano y otra se regenera en la planta de Changi Newater, ya descrita.
- Kranji: 77.000 m³/día.
- Jurong: 205.000 m³/día. Será desmantelada cuando entre en funcionamiento la nueva planta Tuas Newater.

- Ulu Pandan: 12.500 m³/día. Es una pequeña planta, utilizada por PUB como banco de pruebas de nuevas tecnologías de tratamiento de agua.

Durante la fase de depuración se generan lodos, los cuales son sometidos a procesos de digestión y deshidratación. El biogás que se genera se utiliza en las instalaciones depuradoras para producción eléctrica. El lodo, por su parte, se incinera y sus cenizas se depositan en vertedero.

Como hemos señalado anteriormente, existe un proyecto en marcha denominado DTSS, que pretende mejorar, no solo el reciclaje del agua usada, sino también evitar contaminaciones cruzadas de aguas potables; ahorrar espacio en la concepción y construcción de nuevas instalaciones de depuración y crear sinergias con otros gestores de residuos, al incluir los lodos de depuración en proyectos de valorización energética. El proyecto se ha concebido para ser llevado a cabo en 2 fases y está previsto que esté completado en el año 2025.

La primera fase (ya finalizada) contemplaba la creación de un sistema de alcantarillado de 48 km de longitud y unos 40 m de profundidad, que uniera la planta depuradora de Kranji y la de Changi (construida también en esta primera fase).

La segunda fase consiste en:

- La construcción de un túnel profundo de 40 km, con tuberías de entre 3 y 6 m de diámetro.
- Una tubería de agua residual para efluentes industriales desde un polígono industrial próximo a la depuradora de Tuas Newater.
- La construcción de la planta depuradora de Tuas Newater, citada anteriormente.

El agua de lluvia se drena hacia los embalses que nutren de agua a la ciudad por medio de una red de desagües y canales, etc. que son monitoreados por circuitos cerrados de televisión las 24 horas del día.

El organismo gestor realiza constantes análisis de agua para garantizar su calidad. Anualmente se realizan más de 500.000 pruebas de calidad del agua, siguiendo estándares y recomendaciones de la OMS.

El precio de los servicios relacionados con el agua está compuesto por tres elementos:

- Tarifa de agua potable: Se destina a cubrir los costes originados por todo el proceso de potabilización. Se cobra en función de los m³ consumidos.
- Tarifa de alcantarillado: Se destina a cubrir los costes originados por todo el proceso de depuración del agua y del agua purificada (Newater).
- Impuesto de conservación del agua: Es una especie de impuesto ecológico para que la población sea consciente de la escasez del recurso hídrico. Se cobra como porcentaje del agua consumida.

Las tablas 17, 18 y 19 muestran el precio de los distintos tipos de agua y para los distintos usos (Tipo de cambio aplicado: 1 dolar de Singapur=0,63 €):

Tabla 17, Tarifa del servicio de agua potable, Singapur 2021.

Servicio	0-40 m³ (€/m³)	>40m³ (€/m³)
Tarifa agua potable	0,76	0,96
Impuesto conservación de agua	0,38	0,62
Tasa de alcantarillado	0,58	0,74

Fuente: a partir de www.pub.gov.sg.

Tabla 18, Tarifa del agua reusada (Newater), Singapur 2021.

Servicio	Volumen (€/m³)
Agua reusada	0,81
Impuesto conservación de agua	0,08
Tasa de alcantarillado	0,58

Fuente: a partir de www.pub.gov.sg.

Tabla 19. Tarifa del agua industrial, Singapur 2021.

Servicio	Volumen (€/m³)
Tarifa agua	0,42
Tarifa de alcantarillado	0,58

Fuente: a partir de www.pub.gov.sg.

Existen ayudas para rentas bajas para hacer frente a los recibos del agua (cupón GST-U-Save), que varían entre 25 y 76 €, en función del tipo de vivienda que se habite, a la que se pueden acoger los ciudadanos que cumplan una serie de requisitos.

Asimismo, existe un “fondo para la eficiencia energética” que se concede a aquellas empresas que inician algún tipo de proyecto que contemple la eficiencia en el uso del agua dentro de sus procesos industriales.

3.4. El ciclo integral urbano del agua en ciudades de interior cálidas.

3.4.1. C.D.México (México).

La ciudad de México (C.D. México), según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Cwb, que corresponde con un clima cálido. La temperatura media está en torno a los 16° C y la precipitación alrededor de los 1.058 mm/año.

En la C.D. México, el organismo responsable de la gestión del agua es el Sistema de Aguas de la ciudad de México (SACMEX), que es un organismo público dependiente del gobierno local. Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de (Torres, 2017), salvo que se indique otra fuente.

La ciudad cuenta con una población de, aproximadamente, 9.204.699 personas (2020) y consumen unos 307 l/persona/día, aunque esta cifra es muy dispar, ya que si hay distritos que llegan a disponer de hasta 567 l/persona/día, otros, los más empobrecidos, no llegan a 124. De hecho, hay barrios a los que no llega el agua potable y la que llega se distribuye por camiones cisterna (Mendoza, 2021).

Para el abastecimiento de agua potable la ciudad cuenta con los siguientes recursos:

- Sistema Lerma: Toma agua superficial de lagunas situadas a unos 70 kms, al Suroeste de la ciudad y aguas subterráneas de 230 pozos. El agua se lleva a la ciudad a través de un acueducto de 62 kms de longitud. Aporta el 12% del total.
- Sistema Cutzamala: Se inicia en Michoacán y recorre una distancia de 322 kms, a través de acueductos y canales. Cuenta con 7 presas (Del Bosque,

Chilesdo, Colorines, Ixtapán del Oro, Tuxpan, Valle de Bravo y Victoria), con una capacidad de entre 790 y 840 millones de m³ y 6 estaciones de bombeo. El sistema aporta 1,38 millones de m³/día. Aporta el 42 % del total.

Ambos sistemas se unen para cruzar al Valle de México por el Suroeste y el agua se potabiliza en la estación de “Los Berros”, cuya capacidad es de 1,73 millones de m³/día.

- Aguas subterráneas: Se completa el abastecimiento con la extracción con aguas subterránea de 670 pozos situados en la cuenca del Valle de México y los ramales del río Magdalena que aportan, aproximadamente, el 46% del agua consumida. Este acuífero está sobreexplotado en un 32% de su capacidad de recarga, lo que se refleja en constantes hundimientos de la ciudad.

Cabe señalar que una gran parte de la población se surte de agua embotellada, con un promedio de 391 litros/persona/año, siendo los barrios más pobres los que más acuden a este método (Montero, 2016, citado en Ortega, 2021).

El sistema de agua potable cuenta con 34 plantas potabilizadoras, 254 plantas de bombeo, varios depósitos de almacenamiento y una red de distribución primaria de 976,64 kms. Existe un grave problema de pérdidas (35%) de agua potable por un deficiente mantenimiento del sistema de distribución, que agrava el problema de escasez que sufre la ciudad.

La ciudad se asienta sobre un antiguo sistema lagunar que se ha ido desecando a medida que se ha ido necesitando espacio para el crecimiento urbano, de modo que, recurrentemente, se producen inundaciones en momentos de precipitaciones fuertes. Para evitarlo, se han construido túneles de desagüe (164 kms de longitud), con una capacidad de hasta 220 m³/s.

La gestión de las aguas residuales y de lluvia se realiza a través de un sistema de tuberías de 2.056 kms y 176 plantas de bombeo que llevan el agua a 24 plantas de tratamiento (Chapultepec, Coyoacán –gestión privada-, Tlatecolco,...). La mayor parte de estas plantas depuradoras están obsoletas y han rebasado todas las

expectativas de vida útil. Un ejemplo es la EDAR del “Cerro de la Estrella” (345.600 m³/día), que se construyó en 1969, con una vida útil de 25 años (Rocha, 2019) y aún está en uso.

Por contra, en el año 2017 se ha puesto en funcionamiento la EDAR de Atotonilco, con una capacidad máxima de 4,3 millones de m³/día. Esta planta es gestionada por el Consorcio de Aguas Tratadas del Valle de México. El agua depurada se utiliza para usos agrícolas. Además, tiene un sistema de cogeneración de biogás, cuya combustión se utiliza en las propias instalaciones (iAgua, 2018).

A pesar de todo, en la actualidad, aún hay parte de las aguas residuales que no son tratadas. Todas ellas, tratadas o no, se vierten en el río Panuco y en otros sistemas lacustres naturales urbanos, como el Xochimilco-Tláhuac o los conocidos como Lagos de Chapultepec.

Para el cálculo de la tarifa de agua se sigue lo descrito en la publicación digital Dinero en Imagen (Imagen Digital, 2018). Según este documento existen tres tipos de usuarios:

- Uso doméstico (viviendas).
- Uso doméstico y no doméstico(casas con locales comerciales).
- No doméstico (empresas).

Se aplica una tarifa diferenciada en función del uso, de las rentas de la población que habite en una manzana (popular, baja, media y alta) y en función del consumo de agua. Se aplican beneficios fiscales, en forma de subsidios que, entre las clases más populares pueden llegar al 91% del precio del agua. Este subsidio va disminuyendo a medida que aumenta el consumo. El cobro del recibo de agua es bimensual. Se muestra un ejemplo de tarifa en la tabla 20, correspondiente al uso doméstico de agua potable (Tipo de cambio aplicado: 1 Peso Mexicano=0,042€). Con lo que respecta al agua residual, no se han aplicado tarifas desde 2006 (CONAGUA, 2020; Ortega, 2021). En la ciudad hay unos 700.000 usuarios que no tienen contador. En este caso, lo que se hace es aplicar una cuota fija y, en función de la manzana donde se viva se aplican los subsidios correspondientes.

Tabla 20, Tarifa de agua potable, C.D. México, 2021.

Consumo (m ³)	Tarifa popular			Tarifa baja			Tarifa Media			Tarifa alta		
	% de subsidio	Cuota mínima (€)	Cuota por cada m ³ excedente al límite inferior (€/m ³)	% de subsidio	Cuota mínima (€)	Cuota por cada m ³ excedente al límite inferior (€/m ³)	% de subsidio	Cuota mínima (€)	Cuota por cada m ³ excedente al límite inferior (€/m ³)	% de subsidio	Cuota mínima (€)	Cuota por cada m ³ excedente al límite inferior (€/m ³)
0-15	91,3	1,77	-	90,1	2,00	-	67,4	6,63	-	60,9	7,95	-
> 15	91,3	1,77	0,15	90,1	2,00	0,34	67,4	6,63	0,85	60,9	7,95	0,89
>20	90,7	2,53	0,24	86,3	3,71	0,46	59,8	10,90	0,93	54,1	12,42	1,00
>30	87,8	4,96	0,50	79,6	8,31	0,65	50,2	20,24	1,11	44,8	22,43	1,19
>40	81,7	9,91	0,72	72,6	14,83	0,91	42,2	31,31	1,19	36,7	34,30	1,27
>50	74,7	17,13	1,08	64,6	23,97	1,16	36,2	43,23	1,32	30,6	46,98	1,36
>70	61,6	38,66	1,36	53,2	47,11	1,41	30,9	69,60	1,77	26,4	74,17	1,77
>90	51,7	65,94	2,36	44,8	75,40	2,36	23,2	104,94	2,36	19,9	109,50	2,36
>120	34,5	136,63	3,71	29,8	146,10	3,71	15,6	175,64	3,71	13,5	180,20	3,71

Fuente: a partir de *Imagen digital*.

3.4.2. Dallas (Estados Unidos).

Dallas es una ciudad interior que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Cfa, que corresponde con un clima cálido. La temperatura está en torno a los 19° C y la precipitación alrededor de los 1.034 mm/año.

La gestión del ciclo del agua en Dallas corresponde al propio Ayuntamiento de la ciudad, a través del Dallas Water Utilities (DWU) (*dallascityhall.com*). Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

Dallas cuenta con una población de 1.340.000 habitantes pero DWU da servicio a toda el área metropolitana, que comprende una población de, aproximadamente, 2,4 millones de personas y 27 núcleos de población, en una superficie de 1.810 km². El consumo medio per capita es de 256,62 l/día (2018).

Para el abastecimiento de agua potable Dallas cuenta con 6 embalses (Lewisville, Grapevine, Ray Hubbard, Tawakoni, Ray Roberts y Fork). El más importante de ellos es el Ray Hubbard, que se nutre del agua del río East Fork Trinity, afluente del río Trinity. El embalse lo gestiona la propia ciudad, a través de DWU, y tiene una capacidad de 542,2 Hm³. El agua se potabiliza en tres plantas potabilizadoras:

- East Side: 340.650 m³/día.
- Elm Fork: 1.173.350 m³/día.
- Bachman: 567.750 m³/día.

El sistema de distribución cuenta con 28 instalaciones de bombeo, 11 depósitos de almacenamiento, 9 torres de agua y más de 7.401 kms de tuberías. El 5,8 % del agua se pierde por fugas y roturas del sistema de distribución.

El sistema de alcantarillado cuenta con 6.463,4 km de tuberías y 15 estaciones de bombeo, que llevan el agua a las dos estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas de las que dispone la ciudad:

- Central: capacidad de 640.000 m³/día.

- Southside: capacidad de 605.600 m³/día. Durante el tratamiento de los lodos de depuración se genera biogás, usado para calentar las propias instalaciones.

Se ha creado un protocolo de descarga de efluentes industriales y comerciales a las redes de alcantarillado, llamado “protocolo de pretratamiento”, que pretende proteger las instalaciones de depuración de contaminantes dañinos para ellas.

El agua depurada se vierte al río Trinity, el cual está en constante monitoreo para controlar los niveles de contaminación.

La ciudad cuenta con un programa de manejo de las aguas de lluvia. El sistema de alcantarillado pluvial descarga en arroyos, lagos y ríos próximos, aunque existe una regulación específica que debe ser renovada periódicamente ante el Estado de Texas, que es el responsable de dar los permisos para esta descarga.

La ciudad dispone de un plan para la conservación del agua desde octubre de 2001, cuando se aprobó la ordenanza para utilización de agua para riego de jardines. Desde entonces, se han mejorado los sistemas de control y medida de la calidad de las aguas; monitoreo de las fuentes de abastecimiento de agua; campañas de concienciación a la ciudadanía, como el programa “Ahorra agua, nada puede reemplazarla” (*savedallaswater.com*), etc.

Asimismo, tiene un plan de sequía. Este plan se basa en la presentación de varios escenarios de agudización del fenómeno y en la implementación de una serie de medidas de contingencia en el consumo y distribución de agua en cada uno de ellos.

Se realizan entre 40.000 y 50.000 análisis mensuales de las aguas para garantizar su calidad, tanto en el agua potable como en el agua residual, cumpliendo estrictamente los estándares solicitados por la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos.

En cuanto a las tarifas por el servicio de agua que se pagan en Dallas, tenemos un resumen de las mismas en la tabla 21 (tipo de cambio aplicado: 1 dolar USA=0,85€):

Tabla 21, Tarifa de agua potable y alcantarillado, Dallas, 2021.

Volumen (m ³ /mes)	Agua (€/m ³)	Alcantarillado (€/m ³)
Hasta 15	0,42	1,21
15,1-38	0,91	1,21
38,1-76	1,48	1,21
76,1-114	2,11	1,21
Más de 114	2,44	1,21

Fuente: a partir de dallascityhall.com.

3.4.3. Riyad (Arabia Saudita).

Riyad es una ciudad interior que, según la clasificación del clima de Köppen y Geiger, está en la categoría Bwh, que corresponde con un clima desértico. Su temperatura media anual ronda los 26° C y la precipitación los 66 mm/año.

La entidad responsable de la gestión del ciclo del agua es la National Water Company (NWC) (www.nwc.com.sa), que pertenece al Estado de Arabia Saudita. Todos los datos que se muestran a continuación han sido tomados de la página web del gestor del servicio, salvo que se indique otra fuente.

La población de la ciudad asciende a 8,3 millones de personas (2020), que consumen 263 l/día (2019). En la actualidad las fuentes de agua de la ciudad se dividen entre:

- Aguas desaladas. Se obtienen por medio de dos plantas desaladoras situadas a unos 450 km, en el Golfo Pérsico:
 - Jubail Desalination Plant: con capacidad para 100.000 m³/día.
 - Ras Al-Khair Desalination Plant: 728.000 m³/día.

Supone el 62% del total del agua potable consumida por la ciudad. Estas plantas, según informe del ICEX (2020) están gestionadas por la Saline Water Conversion Corporation, que es una entidad pública dependiente del Gobierno del país.
- Aguas subterráneas: se obtienen a través de 9 pozos excavados en las inmediaciones de la ciudad y que aportan el resto del agua que se consume (Al-Juaidi&Attiha, 2020):
 - Hair: con capacidad para producir 51.000 m³/día.
 - Salboukh: 10.900 m³/día.
 - Malaz: 16.000 m³/día.
 - Shemessy: 32.000 m³/día.

- Manfouha: 45.000 m³/día.
- Buwayb, 95.000 m³/día.
- Riyadh Water Wells Project: 68.000 m³/día.
- Hunnai: 393.000 m³/día.
- Saad: 218.000 m³/día.

Las pérdidas en la red de distribución están en torno al 25-30% (ICEX, 2020). Antes de ser distribuida el agua se almacena en 7 depósitos, con una capacidad aproximada de 2,3 millones de m³.

El agua residual se trata en 4 plantas ubicadas en el barrio de Manfouha, cuya capacidad total es de 900.000 m³/día. La NWC ha comenzado a privatizar la gestión de todas estas plantas el pasado año 2020. Los lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales se destinan a varios usos (abonos, biocombustible, materiales de construcción,...). Se está desarrollando con fuerza la construcción de instalaciones para aprovechar el biogás producido durante la fermentación de los lodos (ITA, 2016).

El agua depurada se vierte al río Wadi Hanifah, cuyo caudal está prácticamente compuesto por aguas residuales depuradas (Abdallah, 2017). Este río ha estado sometido a muchas presiones por el rápido crecimiento urbano de la ciudad, de modo que la Autoridad de Desarrollo de Riyad llevó a cabo una obra de remodelación del cauce. Una de las actuaciones más llamativas ha sido la construcción de varias lagunas artificiales que hacen labores de bioremediación, mejorando la calidad de las aguas, al reducir los niveles de coliformes fecales y otros nutrientes perjudiciales para su calidad (Said Abdallah, 2017).

Existe un modelo de planificación hidrológica que ha previsto 5 escenarios diferentes y que sirve a las autoridades locales para guiar su plan de gestión de los recursos hídricos (Al-Juaidi&Attiah, 2020):

- Escenario 1: Las fugas de agua suponen en determinadas zonas de la ciudad hasta un 25% del agua servida. Este escenario plantea la posibilidad de reducir estas pérdidas hasta el 10%, lo que reduciría la demanda prevista para el año 2030 de los 1,9 millones de m³/día a 1,6.

- Escenario 2: Plantea la reducción en el consumo de agua originado por la modernización de los electrodomésticos. Se conseguiría reducir la demanda de agua hasta los 1,3 millones de m³/d.
- Escenario 3: Este escenario contempla el incremento en el uso del agua reciclada en agricultura hasta el 20%, sin tener en cuenta los otros dos escenarios. Se pasaría de una demanda de 1,9 millones de m³/día en 2017 a 1,6 en 2030.
- Escenario 4: combina el escenario 1 con un plan de conservación de agua. Se llega a una demanda de agua en el año 2030 de 1,1 millones de m³/día.
- Escenario 5: Une los escenarios 1, 2 y 3, consiguiendo reducir la demanda de referencia de 1,9 a 0,89 millones de m³/día.

El sistema de tarifas en Arabia Saudita trata de asegurar el acceso al agua potable a toda la población. De modo que el precio de los primeros 15 m³ consumidos se sitúa en los 0,03 €/m³ (ICEX, 2020). Para obtener las tarifas de agua se ha acudido a la página web de Global Water Intelligence (www.globalwaterintel.com), que es una revista especializada en el mundo del agua. A continuación, se muestra la tabla 22 con las tarifas de agua potable y alcantarillado (Tipo de cambio aplicado: 1 Riyad Saudí=0,23€):

Tabla 22, Tarifas agua potable y alcantarillado, Riyad, 2021.

Consumo (m ³ /mes)	Agua potable (€/m ³)	Alcantarillado (€/m ³)
0-15	0,03	0,01
16-30	0,23	0,12
31-45	0,70	0,35
46-60	0,92	0,46
61 y +	1,38	0,69

Fuente: a partir de www.globalwaterintel.com.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el estudio realizado sobre el ciclo integral urbano del agua en las 12 ciudades analizadas.

Una parte de las ciudades costeras estudiadas utiliza agua desalada, si bien no es siempre su recurso principal. Sta. Cruz de Tenerife tiene una dependencia del agua desalada del 62%, mientras que Singapur está en el 25%. Casablanca ha estado consumiendo aguas superficiales y subterráneas hasta la actualidad pero está construyendo una planta desaladora, que entrará en funcionamiento en 2027, que cubrirá buena parte de las necesidades de la ciudad. La mayor o menor dependencia y uso del agua desalada está muy vinculada a la disponibilidad de otras fuentes de agua más baratas, como la superficial. Es el caso de Helsinki, Oslo o Tallin, donde no se utiliza agua desalada, a pesar de tratarse de ciudades costeras.

Un caso especial en este sentido es Riyad que, situada a más de 400 kms de la costa, tiene una dependencia del agua desalada del 62%. Este hecho se sustenta en que la energía necesaria para impulsar el agua es barata, ya que producen el 76% de la energía consumida (Banco Mundial, 2015) con sus reservas de gas y petróleo. Es previsible que el agua desalada sea su única fuente de abastecimiento en el futuro, junto con la reutilización (que podría llegar al 20% del total de agua consumida en años venideros). Las aguas subterráneas de las que se surten en la actualidad están siendo sometidas a una enorme presión para uso agrícola y está previsto su agotamiento en los próximos años, ya que los acuíferos tienen una muy baja o nula capacidad de recarga (Novo, 2019).

La red de aguas separativas (residual y pluvial) existe en varias ciudades (en Oslo, el 43% de las redes son separativas; en Tallín, el 65%) pero no se extienden a todo el tejido urbano. La tendencia de todas las ciudades es ir creando redes separativas en todas las nuevas obras. En Casablanca, por ejemplo, se están realizando ampliaciones urbanísticas y se está construyendo ya con redes separativas.

Varias de las ciudades de climas fríos, ya sea de costa o de interior, tienen parte del sistema de depuración de aguas construido en instalaciones subterráneas. Sucede tanto en Helsinki,

como en Oslo o Lahti. Sin embargo, Moscú tiene sus depuradoras en superficie, como Tallin o Vilna. No hemos encontrado razones que expliquen esta diferencia.

La reutilización del agua gana peso en el ciclo urbano a medida que se hace más escasa y siempre que exista suficiente financiación, lo que lleva a una toma de conciencia del agua como recurso estratégico, tanto por parte de las autoridades como de la ciudadanía. El caso más paradigmático de todos los estudiados es Singapur, que está invirtiendo grandes cantidades de dinero en convertir el agua reutilizada (NEWater) en la principal fuente de abastecimiento (55% en 2060).

Por lo que respecta a la gestión del ciclo integral del agua hay una gran variedad de situaciones. En Oslo es un mismo organismo el que gestiona el agua de manera conjunta pero ha privatizado la gestión de la depuración. En Sta. Cruz de Tenerife la titularidad del servicio es municipal pero toda la gestión está privatizada. En Tallin, existe un consorcio público-privado que gestiona el ciclo del agua. Y en Singapur es un organismo público, dependiente del Ministerio de Sostenibilidad y Medio Ambiente, el responsable de todo el proceso. Sea cual sea el modelo, es independiente de la situación geográfica o climática donde se encuentre ubicada la ciudad. En todo caso, la mayoría de las ciudades han pasado por situaciones diversas y gestiones variadas, en función de su experiencia y expectativas. Por ejemplo, en Sta. Cruz de Tenerife, el Cabildo va a recuperar en breve la gestión de una planta desaladora y la EDAR después de unos años de gestión privada.

Todas las ciudades analizadas tienen un sistema tarifario para el consumo del agua y la recogida y tratamiento del agua residual. Este sistema es más o menos progresivo y se grava con impuestos que varían del 24%, en Helsinki, al 7%, en Casablanca. Todos ellos tratan de dar acceso al agua a toda la población, garantizando precios bajos a los primeros tramos de consumo (Riyad garantiza el precio bajo a los primeros 15 m³ consumidos). Con la aplicación de tarifas se pretende cubrir los costes del servicio y garantizar su continuidad, con la implementación de las mejores técnicas disponibles. Sin embargo, en ocasiones, por ejemplo en C.D. México, donde un elevado porcentaje de población no cuenta con contadores, es problemático llevar a cabo políticas de recuperación de costes y, por tanto, mejorar las infraestructuras. Aventurarse a comparar tarifas es complicado, no solo por la realidad socioeconómica de cada una de las ciudades, sino también porque en muchas ocasiones llevan asociados otros impuestos (Singapur tiene un impuesto

“ecológico, por ejemplo) que gravan el consumo o van unidos en la misma tarifa el abastecimiento y el saneamiento, etc. Lo que sí es común a todos los sistemas tarifarios es que se grava más a los consumos excesivos.

Algo que merece la pena destacar es el sistema tarifario de Tallin, que grava el agua residual en función de la carga contaminante que lleve consigo. Este sistema debería implementarse en todas las aguas residuales, especialmente en las aguas residuales industriales, con el fin de orientar las producciones a sistemas menos contaminantes.

Igualmente destacable es el consumo de agua embotellada entre la población, un consumo que no deja de aumentar en todo el mundo y que atiende a los cambios de preferencias a la hora de refrescarse e hidratarse de los consumidores. El agua embotellada es accesible casi en cualquier parte y a cualquier hora del día (Rodwan, 2019). Pero también se debe a la falta de confianza de los consumidores hacia los gestores del servicio de potabilización de agua y de su calidad. Un mito extendido, con o sin razón, pero que ha calado fuertemente entre la población. Las Administraciones responsables del ciclo urbano del agua han iniciado una estrategia para tratar de ganarse de nuevo la confianza de los consumidores, realizando campañas en favor del consumo del agua de grifo (Zarza, 2018).

De cara al futuro, todas las ciudades plantean, en mayor o menor grado, programas de mejora de instalaciones (reducción de fugas, reducción de costes,...), mejora de control de caudales servidos, construcción de redes separativas... y, en general, buscan el cumplimiento de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (www.un.org), uno de los cuales, el nº 6, está dedicado al acceso al agua limpia y saneamiento.

C.D. México y su área metropolitana es el ejemplo paradigmático de las consecuencias de una mala gestión del ciclo del agua. Una ciudad, un área metropolitana que está entre las 10 mayores aglomeraciones del mundo, con más de 20 millones de habitantes, que se abastece de fuentes cada vez más lejanas y cada vez más contaminadas, se enfrenta a una crisis hídrica sin precedentes, sin que parezca que nadie es capaz de hacer nada para remediarlo. Y no es por falta de agua. En la ciudad de México las precipitaciones son mayores que en París, por ejemplo (Rodríguez, 2021).

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones que podemos sacar del estudio de los 12 ejemplos presentados son las siguientes:

- Diferencias de diseño: En este apartado hemos detectado que en los climas fríos es habitual encontrar instalaciones de depuración de agua excavadas bajo tierra, con el fin de facilitar que los procesos de tratamiento biológicos se realicen con eficacia. Si bien es cierto que no es una técnica compartida en todos los lugares.

Igualmente, en lugares costeros el diseño del ciclo del agua urbana se basa, en mayor o menor medida, en la desalación de agua marina como forma de suministrar agua potable a la población. Pero, al igual que en el caso anterior, no podemos decir que esta técnica sea exclusiva de ciudades costeras, pues hay ciudades de interior que también consumen agua desalada.

- Diferencias de gestión: En este apartado no se han detectado diferencias en el modelo de gestión debidas a componentes climáticos o geográficos. No hay un modelo que se imponga a los demás y su tipología depende más de factores políticos, económicos y sociales que resultan determinantes en los diferentes modelos de gestión, siendo más marcadas las diferencias, en cuanto a eficiencia, cuanto más desarrolladas son las ciudades.
- Similitudes: Lo que sí hemos detectado en todos los análisis realizados es que, a pesar del tamaño de las ciudades, de su ubicación costera o interior, en climas fríos o cálidos, todas ellas encaran problemas comunes de gestión de unos recursos cada vez más escasos para una población cada vez más numerosa y enfrentadas a un entorno cada vez más exigente en la calidad de los servicios públicos y en el respeto al medioambiente. Las que no sean capaces de afrontar el futuro con esta mirada están abocadas, tarde o temprano, a sufrir las consecuencias.
- Tendencias: Como aspecto relevante se ha podido observar una tendencia al aumento de las medidas encaminadas a la utilización de fuentes de agua no convencionales, como la desalación y la reutilización, así como a la recuperación de materia y energía de las aguas residuales y a los modelos de economía circular.

Todas estas actuaciones van a ir ganando peso a medida que el recurso se haga más escaso y que las administraciones y la población tomen conciencia de su valor.

En línea con lo anterior, la tendencia tarifaria va a ser la de gravar con algún tipo de impuesto “ecológico” el consumo de agua y ajustar las tarifas al coste real de los servicios relacionados con ella. El incremento de precios va a tener que acompañarse de mejoras en la calidad del servicio capaces de generar de nuevo confianza en los usuarios, así como de políticas públicas que garanticen el acceso al agua potable a toda la población.

En el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (ONU, 2021) se dedica un capítulo a los cambios en el ciclo del agua originados por el cambio climático (aumento general de la humedad atmosférica, de la evapotranspiración terrestre y marina, reducción de las precipitaciones en climas secos,...), detrás de los cuales se encuentra, en gran medida, la acción humana y el modelo económico capitalista. Se van a producir cambios más o menos inesperados en todo el Planeta, que afectarán a la disponibilidad de agua para consumo humano.

Es indispensable, por tanto, repensar la importancia de un buen diseño y gestión del ciclo del agua en las ciudades, sobre todo en aquellas que están en vías de desarrollo. En este sentido, este estudio de las diferencias en el diseño y gestión del ciclo integral del agua en ciudades costeras, de interior, climas cálidos y climas fríos puede servir de guía y referente como modelo y aporte de experiencias para su implementación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Al Arbi, R. (2021). *Dessalement d'eau de mer: Casablanca aura la plus grande station d'Afrique et du monde*. Kiosque360. <Accesible en URL <https://fr.le360.ma/economie/dessalement-deau-de-mer-casablanca-aura-la-plus-grande-station-dafrique-et-du-monde-235643>>.
- Al-Juaidi, A.; Attiah, A (2020). Evaluation of desalination and groundwater supply sources for future water resources management in Riyadh city. *Desalination and water treatment: science and engineering*. Volumen 175: 11-23. <Accesible en URL <https://www.deswater.com/vol.php?vol=175&oth=175|0|January%20|2020>>.
- BAD (2020). *Maroc: la station d'Oum Azza alimente en eau potable plus de cinq millions de personnes sur l'axe Rabat-Casablanca*. <Accesible en URL <https://www.afdb.org/fr/success-stories/maroc-la-station-doum-azza-alimente-en-eau-potable-plus-de-cinq-millions-de-personnes-sur-laxe-rabat-casablanca-36789>>.
- Banco Mundial (2015) *Producción de electricidad a partir de fuentes de petróleo, gas y carbón (% del total) Arabia Saudita*. Banco Mundial. <Accesible en URL <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.FOSL.ZS?end=2015&locations=SA&start=1971>>
- BOE (2017). Resolución de 3 de mayo de 2017, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto Remodelación y ampliación de la estación depuradora de aguas residuales de Buenos Aires, término municipal de Santa Cruz de Tenerife. *BOE 115* (15 mayo 2017): 40.122-40.145
- Chew, V (2019). *Singapore-Malaysia water agreements*. Singapore Government Agency Website <Accesible en URL https://eresources.nlb.gov.sg/infopedia/articles/SIP_1533_2009-06-23.html>.
- CIAFT (2018). *Plan hidrológico de Tenerife 2015-2021*. Consejo Insular de Aguas de Tenerife.
- CONAGUA (2020). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México.
- ITA (2016). *2016 Top Markets Report. Environmental Technologies*. International Trade Administration. Department of Commerce of USA. 61-66.
- IUGS-GEM (2015). Use of Fresh Groundwater for Drinking Water Supply of Population in Emergency situations. *Field Trip Guide: History of water supply in Vilnius –*

- from springs to centralized systems*. International Union of Geological Sciences-Commision on Geoscience for Environmental Management; Lithuanian Geological Survey; The Geological Survey of Europe. <Accesible en URL https://www.lgt.lt/images/LGT_leidiniai/Field_Trip_Guide_2015_06_3_5.pdf>.
- Día, El (2020). *El Cabildo de Tenerife asumirá la gestión de la depuradora de Buenos Aires*. Periódico El Día, La opinión de Tenerife <Accesible en URL <https://www.eldia.es/tenerife/2020/10/29/cabildo-tenerife-asumira-gestion-depuradora-22313528.html>>.
- Guendouli, A. (2021). *Assainissement des eaux pluviales: Lydec achève la réalisation de 3 grands projets à Casablanca*. La Vie éco. <Accesible en URL <https://www.lavieeco.com/actualite-maroc/assainissement-des-eaux-pluviales-lydec-acheve-la-realisation-de-3-grands-projets-a-casablanca>>.
- GWII (2016) *Saudi Arabia downplays water tariffs restructuring*. Global Water Intelligence. 17, Issue 1. <Accesible en URL <https://www.globalwaterintel.com/global-water-intelligence-magazine/17/1/general/saudi-arabia-downplays-water-tariff-restructuring>>.
- iAgua (2018). *La EDAR de Atotonilco, la mayor planta de tratamiento de aguas residuales del mundo, cumple un año*. <Accesible en URL <https://www.iagua.es/noticias/acciona-agua/edar-atotonilco-mayor-planta-tratamiento-aguas-residuales-mundo-cumple-ano>>.
- iAgua (2020). *La complejidad del agua en Tenerife, una isla sin ríos*. <Accesible en URL <https://www.iagua.es/noticias/locken/agua-tenerife-isla-rios>>.
- ICEX (2020), *El mercado del agua en Arabia Saudí*. ICEX España Exportación e Inversiones, E.P.E., M.P. <Accesible en <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-mercado/estudios-informes/DOC2020863723.html?idPais=SA>>.
- Imagen Digital (2018). *Estas son las tres tarifas con las que se cobra el agua en CDMX*. Grupo Imagen <Accesible en URL <https://www.dineroenimagen.com/actualidad/estas-son-las-3-tarifas-con-las-que-se-cobra-el-agua-en-cdmx/102775>>.
- IPCC, (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E.

- Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.). Cambridge University Press. In Press. <Accesible en URL <https://www.un.org/es/climatechange/reports>>.
- Juuti, P. S.; Rajala, R. P. (2021). El éxito del agua pública en la lucha contra el covid 19 en Finlandia. McDonald, David A; Spronk, Susan J.; Chávez Daniel (ed.) *Agua pública y Covid-19*. 465-470. Municipal Service Project (Kingston); Transnational Institute (Amsterdam) y Latin American Council of Social Sciences (Buenos Aires) <Accesible en URL <https://www.tni.org/en/public-water-and-covid-19>>.
- LYDEC (2016). *Rapport de contribution sociale, sociétale et environnementale*. <Accesible en URL https://client.lydec.ma/site/fr/c/document_library/get_file?uuid=889b4f15-0ea3-4c3e-a309-76f863a46cca&groupId=10156>.
- Mendoza, C. (2021). *¿Cuánto cuesta el agua en CDMX?*. El Sol de México. Ciudad de México. <Accesible en URL <https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/cdmx/cuanto-cuesta-el-agua-en-la-cdmx-7071001.html>>
- NIRAS (2018). *Oslo water supply goes online to reduce high water loss*. NIRAS <Accesible en URL <https://www.niras.com/news/oslo-water-supply-goes-online-to-reduce-high-water-loss>>.
- Novo, C (2019). *Saudi Arabia's groundwater to run dry*. Smart water magazine. <Accesible en URL <https://smartwatermagazine.com/blogs/cristina-novo/saudi-arabias-groundwater-run-dry>>.
- Ortega, K. (2021). *Análisis de la tarifa de agua en México: el caso de la Ciudad de México*. El Semestre de las especializaciones. Revista de la Facultad de Economía-UNAM. Ciudad de México. Vol. 2 - 2. 81-124. <Accesible en URL https://www.depfe.unam.mx/especializaciones/revista/2-2-2021/03_EAE_Ortega-Vazquez_2021.pdf>.
- Primin, O. (2018). *Clean water of Russia: problems and solutions*. IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 365, 022064. <Accesible en URL <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/365/2/022064/pdf>>.
- Primin, O. (2020). *Snow disposal in Moscow*. E3S Web of Conferences 157, 01010 <Accesible en https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/ref/2020/17/e3sconf_ktti2020_01010/e3sconf_ktti2020_01010.html>.

- Ritter, K (2018) *Pollutants and heavy metals taint Moscow's water supply*. Circle of blue
<Accesible en URL <https://www.circleofblue.org/2018/europe/pollutants-and-heavy-metals-taint-moscows-water-supply>>.
- Rocha Ítalo, A. (2019). *Planta de tratamiento de aguas residuales "Cerro de la Estrella"*. Universidad Católica de Santa María. Arequipa.
- Rodríguez, E. (2021) Rehabilitación de la planta de bombeo de Zapadnaya (Mosvodokanal): Soluciones sumergibles INDAR como solución al problema de inundación asociado al cambio climático. *iAGUA Magazine*, 35. 134-137
<Accesible en URL <https://www.iagua.es/magazine/35>>.
- Rodríguez, E (2021), *El fracaso de la gestión del agua en la Ciudad de México*. El Ágora, diario del agua. <Accesible en URL <https://www.elagoradiario.com/agua/agua-y-ciudades/fracaso-gestion-agua-ciudad-de-mexico>>.
- Rodwan, J.G (2019) Significant but slower, growth for bottled water in 2018. *Bottled Water Reporter*. Jul/Aug 2019. 10-18.
- Said Abdallah, M (2017). *Water pollution and treatment of Wadi Hanifah (Hanifah Valley)*. King Fahd University of Petroleum and Minerals. Dammam.
- Torres Bernardino, L. (2017) *La gestión del agua potable en la ciudad de México. Los retos hídricos de la CDMX: gobernanza y sustentabilidad*. Instituto Nacional de Administración Pública, A.C. <Accesible en URL <http://aldf.gob.mx/archivo-027a57875ea54db65fb86646226b9611.pdf>>.
- XYLEM (2020) *Oslo detects leaks in water pipelines using advanced xylem technology*. Xylem <Accesible en URL <https://www.xylem.com/es-es/making-waves/water-utilities-news/oslo-detects-leaks-in-water-pipeline-using-advanced-xylem-technology/>>
- Zarza, L. F. (2018) *La guerra contra el agua embotellada, más fuerte que nunca*. <Accesible en URL <https://www.iagua.es/blogs/laura-f-zarza/guerra-agua-embotellada-mas-fuerte-que-nunca>>.