

AQUAE PAPERS

AQUAE
FUNDACIÓN

Nº 8

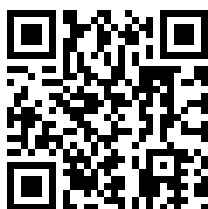
JUNIO 2018

8

RESILIENCIA EN EL CICLO URBANO DEL AGUA. EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁMBITO MEDITERRÁNEO

Autores: Jorge Olcina Cantos, Andrés Campos Rosique, Ignacio Casals del Busto, Juan Ayanz López-Cuervo, Miguel Rodríguez Mateos, Montse Martínez Puentes

Otras colaboraciones: Joaquín Marco Terres, Agustín Plaza Martínez, José Ramón Moya Botella, Luis Cutillas Lozano



En colaboración con:



Colegio de
Economistas
de Madrid



CÁTEDRA AQUAE
DE ECONOMÍA DEL AGUA

AQUAe



PAPERS

Nº 8

JUNIO 2018

8

RESILIENCIA EN EL CICLO URBANO DEL AGUA. EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁMBITO MEDITERRÁNEO

Autores: Jorge Olcina Cantos, Andrés Campos Rosique, Ignacio Casals del Busto, Juan Ayanz López-Cuervo, Miguel Rodríguez Mateos, Montse Martínez Puentes

Otras colaboraciones: Joaquín Marco Terres, Agustín Plaza Martínez, José Ramón Moya Botella, Luis Cutillas Lozano

RESILIENCIA EN EL CICLO URBANO DEL AGUA

Autores:

- Jorge Olcina Cantos, catedrático de Análisis Geográfico Regional en la Universidad de Alicante y responsable del Instituto de Climatología de la Universidad de Alicante. Actualmente, presidente de Asociación de Geógrafos de España
- Andrés Campos Rosique, ingeniero de Proyectos de Oficina Técnica, Aguas de Alicante
- Ignacio Casals del Busto, responsable de I+D+i de Aguas de Alicante
- Juan Ayanz López-Cuervo, responsable de Producción de Aguas de Alicante
- Miguel Rodríguez Mateos, director de Operaciones de Aguas de Alicante
- Montse Martínez Puentes, responsable de I+D+i de la Dirección de Drenaje Urbano de Suez Advanced Solutions

Otras colaboraciones:

- Joaquín Marco Terres, director de Operaciones de Suez en Comunidad Valenciana
- Agustín Plaza Martínez, hidrogeólogo de Aguas de Alicante
- José Ramón Moya Botella, jefe de Mantenimiento, Gestión de redes y Agua Reutilizada de Aguas de Alicante
- Luis Cutillas Lozano, técnico de Explotación de Saneamiento de Aguas de Alicante

1. INTRODUCCIÓN: CLIMA, CAMBIO CLIMÁTICO, AGUA Y RESILIENCIA URBANA	5
2. EL CLIMA MEDITERRÁNEO, UN CLIMA DE ELEVADO CONFORT PERO CON EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS	14
2.1. SEQUÍAS Y ABASTECIMIENTOS DE AGUA	15
2.2. EPISODIOS DE LLUVIA EXTREMA EN EL CLIMA MEDITERRÁNEO	16
2.3. INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO	19
2.4. RETOS PARA EL CICLO URBANO DEL AGUA	26
3. RECURSOS HÍDRICOS	27
3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL ABASTECIMIENTO DE ALICANTE	27
3.2. LAS GARANTÍAS DE SUMINISTRO	30
3.2.1. Evolución y combinación de fuentes de abastecimiento	30
3.2.2. Eficiencia en el uso de los recursos hídricos	31
3.3. LA REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA USOS URBANOS EN ALICANTE	36
3.3.1. El desarrollo de la doble red de agua reutilizada	36
3.3.2. Impacto del agua regenerada en el ámbito urbano	38
3.3.3. Contexto económico de la reutilización	40
3.3.4. Factores de éxito	42
4. EL DRENAJE URBANO	44
4.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS. EVOLUCIÓN URBANA DE ALICANTE: UN PROCESO DE “DIGESTIÓN” PROGRESIVA DE BARRANCOS EN SU TRAMA URBANA	45
4.2. ORÍGENES Y DESARROLLO DE LA RED DE DRENAJE EN ALICANTE	48
4.2.1. Primeras actuaciones históricas sobre el drenaje	49
4.2.2. El crecimiento del puerto de Alicante y su impacto sobre el drenaje urbano	50
4.2.3. El plan del arquitecto José Guardiola	50
4.3. HISTORIA RECIENTE Y EPISODIOS SINGULARES	52
4.4. EL CAMBIO DE PARADIGMA: DE LA VISIÓN HIGIENISTA A LA PROTECCIÓN FRENTE A LAS INUNDACIONES Y LA APUESTA POR LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL	55
4.4.1. El Plan Antirriadas de la ciudad de Alicante	56
4.4.2. Actuaciones complementarias del Plan contra Inundaciones de Alicante	57

4.4.3. Gestión avanzada del drenaje urbano	61
4.4.4. Actuaciones singulares: el depósito anticontaminación José Manuel Obrero y el parque inundable La Marjal	67
4.4.5. Diagnóstico del riesgo de inundaciones en la ciudad de Alicante: el episodio de lluvias muy intensas del 13 de marzo de 2017	72
4.5. RETOS FUTUROS DEL DRENAJE URBANO. LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) COMO MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	76
5. CONCLUSIONES	82
6. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	85
7. BIBLIOGRAFÍA	89
AUTORES	96
ENGLISH VERSION	99

1. INTRODUCCIÓN: CLIMA, CAMBIO CLIMÁTICO, AGUA Y RESILIENCIA URBANA

El cambio climático, los extremos pluviométricos que conlleva su desarrollo y que han comenzado ya a manifestarse, se convierte en el eje principal de actuación de la gestión del agua en las áreas urbanas. La adaptación de infraestructuras de abastecimiento y de evacuación de pluviales a la nueva realidad climática que se estima para los territorios de clima mediterráneo resulta necesaria si se quiere preparar la ciudad para aumentar su resistencia y resiliencia a las condiciones ambientales del futuro inmediato. La ciudad de Alicante, en el litoral mediterráneo español, ha desarrollado en las dos últimas décadas una serie de actuaciones orientadas a disminuir los riesgos del agua y prepararse, de este modo, al escenario del cambio climático. Se analizan en este trabajo las causas que originan la peligrosidad climática relacionada con los extremos pluviométricos en el ámbito mediterráneo, destacando el caso alicantino como ejemplo de territorio con elevado impacto de los riesgos climáticos y del cambio climático, debido a sus altos niveles de vulnerabilidad y exposición. Y se abordan las soluciones —históricas y actuales— llevadas a cabo para disminuir el impacto de inundaciones y sequías, a partir del análisis detallado de las actuaciones realizadas en el medio urbano, que han evolucionado a lo largo del tiempo desde las soluciones meramente estructurales a las basadas en la integración paisajística y la mejora de la resiliencia urbana, en virtud de la incorporación de los principios de la sostenibilidad ambiental, territorial y de responsabilidad social que han guiado las actuaciones de la sociedad que gestiona el ciclo integral del agua en la ciudad de Alicante. Todo ello como modelo de buenas prácticas a impulsar aún más en el futuro, que pueda servir de ejemplo para entornos urbanos mediterráneos con una problemática climática, ambiental y territorial similar.

En 2018 más de la mitad de la población mundial vive en ciudades. En Europa esa proporción se eleva al 75%. El porcentaje de la población mundial residente en ciudades se elevará al 70% en apenas tres décadas. La Tierra se ha convertido en un espacio geográfico dominado por la ciudad. En apenas medio siglo, la transformación ha sido acelerada, brutal. Se ha pasado del protagonismo principal del campo hasta mediados del pasado siglo al predominio de la ciudad en los procesos de transformación territorial que va a marcar el futuro del planeta. Este cambio ha supuesto mejoras indiscutibles para la humanidad, pero ha tenido también un coste importante para la propia salubridad de la superficie terrestre. Uno de estos efectos, seguramente el más destacado, ha sido la contaminación atmosférica con gases derivados de la quema de combustibles fósiles, cuyo impacto directo en el actual

proceso de calentamiento climático mundial es evidente. El cambio climático por el efecto invernadero es un proceso incontestable científicamente en la actualidad, que está provocando cambios en las condiciones climáticas habituales de las regiones del mundo. La región mediterránea, de clima habitualmente confortable y salútil, registra en ocasiones episodios de rango extraordinario que condicionan la vida y la economía de sus habitantes. Inundaciones y sequías son los peligros atmosféricos más habituales en el ámbito mediterráneo, que han obligado al ser humano, desde épocas históricas, a adaptar la implantación de actividades económicas y de los núcleos urbanos a estos extremos climáticos.

La convivencia con las inundaciones y sequías en el mundo mediterráneo ha experimentado cambios a lo largo de la historia. De la adaptación de los usos del suelo y las ciudades a estos peligros climáticos, que fue la medida habitual en las sociedades tradicionales de base agraria, se pasó a los intentos de dominación de la naturaleza por parte de las sociedades mediterráneas, merced a las mejoras de la ciencia y de la técnica. Esta actitud frente al medio ha sido característica hasta finales de la centuria pasada, con un impacto importante sobre el territorio. A partir de 1992, la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro inicia unas nuevas maneras en la relación entre el ser humano y la naturaleza, que se manifiestan en la apuesta decidida por la sostenibilidad como principio de acción de las actuaciones en el medio.

En la actualidad, existe una convivencia necesaria entre las actuaciones estructurales y las propuestas de sostenibilidad ambiental y territorial en las acciones de mitigación y adaptación a los extremos atmosféricos principales del mundo mediterráneo. Esto es especialmente notable en las áreas urbanas, donde, de hecho, las acciones estructurales han ido reduciendo su impacto sobre el territorio, adaptándose a los nuevos principios de desarrollo acorde con los rasgos y posibilidades del medio.

Se ha pasado, pues, del encauzamiento de cauces fluviales o de las conducciones de agua de impronta regional (trasvases) como actuaciones básicas para la reducción del riesgo de inundaciones y sequías en los ámbitos urbanos mediterráneos, al desarrollo de parques inundables, restauración fluvial, depósitos pluviales o la propia adaptación del diseño urbano a dichos extremos atmosféricos, como ejemplos de buenas prácticas de adaptación sostenible orientadas a minimizar las consecuencias de los mismos.

Y el futuro climático, en el contexto actual de calentamiento térmico planetario, no va a hacer sino aumentar la incertidumbre sobre el comportamiento de los elementos climáticos principales en el ámbito mediterráneo. De

entrada, debe señalarse que una atmósfera más cálida es siempre una atmósfera de movimientos de masas de aire más enérgicos y contrastados, en la búsqueda de un equilibrio —teórico— dentro del sistema de balance energético global y/o regional. De manera que el calentamiento térmico planetario, que viene registrándose desde hace tres décadas, favorece el desarrollo de cambios de tiempo más rápidos y contrastados, y de eventos de rango extremo de forma cada vez más frecuente. Esta cuestión ya se percibe en las secuencias sinópticas que se registran en nuestro país (Gil Olcina y Olcina Cantos, 2017). Los modelos de cambio climático señalan, además, que las áreas con clima mediterráneo tienen una probabilidad muy elevada de experimentar en las próximas décadas las siguientes alteraciones:

- Subida de temperatura media, que se manifestará tanto en las máximas diurnas como en las mínimas nocturnas. Es un hecho probado el incremento importante que han experimentado las denominadas “noches tropicales” (temperatura por encima de 20 °C) en el litoral mediterráneo español. Desde 1980, el número de estas noches de elevado *discomfort* climático se ha multiplicado por tres, y en la actualidad se registra más de 70 jornadas con este tipo de noches de calor. En definitiva, se asiste ya a una pérdida de confort climático que podría ser mayor en las próximas décadas.
- Mayor irregularidad en las precipitaciones y una tendencia general al descenso en los valores anuales. Es un hecho comprobado, con los datos de lluvia de las series climáticas en la fachada mediterránea española. Hay dos aspectos de interés para la adaptación de las ciudades al cambio climático en relación con estos cambios en las precipitaciones: está lloviendo menos en la cabecera de los ríos que tienen su nacimiento en la cordillera Ibérica (Júcar, Turia y Tajo), y esta reducción de caudales en cabecera es más notable en primavera, que es una estación fundamental para la planificación de usos del agua de los meses de verano (regadíos y gasto turístico). Y en segundo lugar, las lluvias torrenciales, características de los otoños en el área mediterránea, son cada vez menos abundantes en su cuantía total, pero de mayor intensidad horaria; es decir, no son necesarias cantidades enormes de lluvia (superiores a 200 mm) para ocasionar problemas de inundaciones en las áreas urbanas, como era habitual en la década de los setenta, ochenta o noventa del pasado siglo. Ahora, con lluvias de 50-75 mm, que precipitan en apenas una hora, es suficiente para ocasionar problemas de anegamiento, lo que obliga a repensar el diseño de sistemas urbanos de evacuación de agua pluvial para ir adaptándolo a esta nueva forma de llover.

- El mar Mediterráneo, nuestra principal seña de identidad geográfica y cultural en las regiones y países ribereños de este mar, está experimentando cambios acelerados que van a condicionar, también, el comportamiento climático futuro en las regiones ribereñas. Lo más destacado es el aumento de la temperatura en la superficie marina que se ha registrado desde 1980: por término medio, 1 °C en toda la cuenca occidental del Mediterráneo, aunque hay sectores con 2 °C de aumento, en algo más de tres décadas. Este aumento es muy notable en primavera y otoño, y prolonga el mantenimiento de aguas cálidas o muy cálidas propias del verano hacia los meses contiguos de estas dos estaciones del año. De manera que las condiciones de inestabilidad potencial (aguas cálidas del mar) se mantienen durante más meses del año, con su efecto en el desarrollo más probable de eventos de lluvia intensa durante un periodo de tiempo mayor. Por tanto, el calendario de lluvias torrenciales en el litoral mediterráneo español ya no se limita al otoño, sino que este tipo de extremo pluviométrico puede desarrollarse asimismo, en primavera, al final de otoño y comienzos del invierno, así como en los meses del verano, siempre y cuando se desarrollen las condiciones atmosféricas favorables.

A estos tres aspectos de cambio del clima mediterráneo, ya presentes pero con tendencia a agravarse en las próximas décadas, debe adaptarse el territorio en las regiones mediterráneas y, de modo singular, en sus ámbitos urbanos, que son los que concentran niveles más elevados de vulnerabilidad (población y actividades económicas) y de exposición al desarrollo más frecuente, en el futuro, de episodios atmosféricos de rango extremo.

La adaptación de las ciudades al cambio climático no es una cuestión específica del nuestro país o del litoral mediterráneo español, pero dadas sus especiales condiciones climáticas, actuales y futuras, afecta a todo el planeta. Es importante reconocer, por parte de Administraciones y ciudadanos, la necesidad de poner en marcha medidas que aumenten la resistencia y la resiliencia de las áreas urbanas del área mediterránea española, debido a su elevada vulnerabilidad y exposición a los extremos atmosféricos principales (inundaciones y sequías) y a la evolución futura que pueden experimentar estos riesgos en el contexto del calentamiento climático terrestre. Es cierto que se han diseñado y realizado actuaciones en este sentido en diversas ciudades de esta región mediterránea en España, pero queda todavía mucho por hacer.

A tal fin, se encuentran medidas de buenas prácticas en la reducción del riesgo frente a los extremos atmosféricos y el cambio climático, en general, en otras áreas del mundo, que pueden servir de ejemplo en el litoral mediterráneo

español. Se trata de actuaciones que combinan obra civil de poco impacto ambiental y adecuación al entorno urbano, adoptando criterios de integración paisajística, así como medidas de planificación territorial efectiva incorporadas a los documentos de planeamiento urbanístico.

Algunos ejemplos son muy interesantes, como la aprobación de la política de tejados verdes en Copenhague o Amberes; la construcción de viviendas palafíticas en Nueva Orleans para evitar desastres como el ocasionado por el huracán Katrina en 2005; la construcción de un pabellón multiusos flotante en Rotterdam resistente a las crecidas fluviales y el recrecimiento de polders potencialmente afectables por la acción combinada de inundación y oleajes intensos en áreas costeras en diversas áreas de Holanda¹; y edificaciones sobreelevadas en Helsinki, en el marco del Proyecto BaltCICA², puesto en marcha por los países ribereños del mar Báltico para la adaptación al cambio climático.

Por su impacto territorial, al tratarse de una gran megalópolis, es necesario destacar la puesta en marcha del PlanNYC: *A Greener, Greater New York*, puesto en marcha en 2007 como plan estratégico para la ciudad, con horizonte 2030 y reformulado en 2011. El PlanNYC contiene 132 iniciativas y 400 objetivos concretos a desarrollar con dicho horizonte temporal. Junto a otros aspectos relativos a vivienda, espacios verdes, agua, residuos, calidad del aire y movilidad, el plan incluye un apartado específico a la adaptación de la megalópolis al cambio climático. En dicho apartado se incluyen 13 iniciativas de mitigación y adaptación entre las que destacan: la reducción del 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto al nivel de emisiones de 2005, en 2030; la actualización, junto a la FEMA, de los mapas de inundación de la ciudad para el periodo de retorno de 100 años; la actualización de las normas de construcción; el fomento de medidas de protección frente a las inundaciones en las viviendas en acción coordinada con las compañías de seguros; la reducción de la isla de calor urbano; la integración de las proyecciones del cambio climático en la planificación de la gestión de las emergencias y la comunicación del riesgo a las comunidades de la ciudad para aumentar su resistencia frente al cambio climático y sus peligros atmosféricos asociados.

La Unión Europea aprobó en 2013 la *Estrategia de Adaptación al Cambio Climático* que, a través de ocho acciones, persigue convertir a los países europeos en territorios más resilientes ante los cambios previstos en las

¹ Vid. <http://www.climate-research-netherlands.nl/>

² Vid. <http://www.baltcica.org/>

condiciones climáticas. Para desarrollar estas acciones se han establecido tres prioridades a desarrollar en los años inmediatos: implementar las actuaciones previstas en los Estados miembros, mejorar la información sobre el cambio climático para poder tomar decisiones fundadas y actuar de forma prioritaria sobre sectores especialmente vulnerables. La plataforma Climate-Adapt reúne, en este contexto, la información sobre los proyectos europeos de adaptación al cambio climático que se están desarrollando en diferentes países en los últimos años.

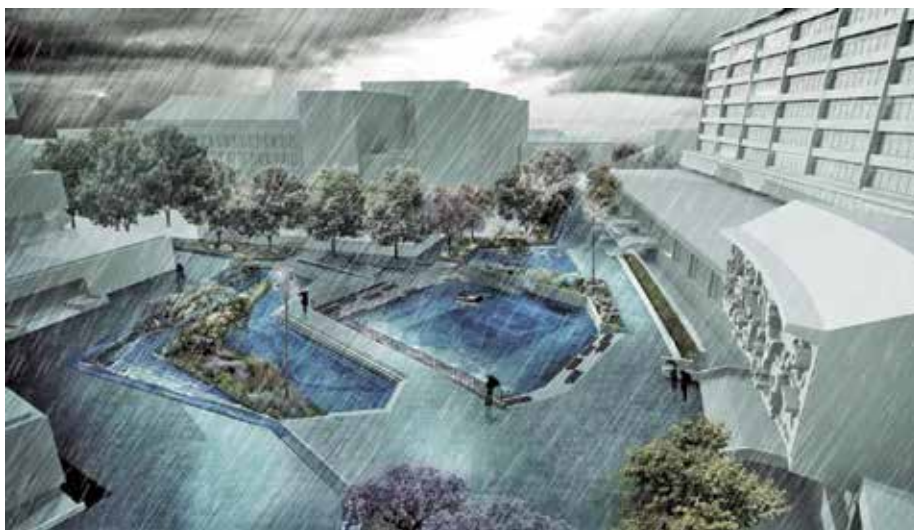
Resulta destacado el proyecto de adaptación al cambio climático que se está llevando a cabo en Berlín. Con el objetivo de reducir el efecto de la isla de calor urbana, en la capital alemana se ha aprobado una ordenanza municipal para la aplicación de un indicador para el desarrollo de zonas verdes en manzanas y edificios, que tiene en cuenta el volumen construido y la antigüedad de los edificios. Es el llamado Biotopo Factor Area (BAF), desarrollado para “verdear” los barrios del centro de la ciudad, y que tiene como objetivo principal asegurar que una proporción determinada de un área edificada se deje sin desarrollar y se cubra de vegetación. El programa BAF pretende compatibilizar altas densidades de edificación en el centro de Berlín con el desarrollo de la infraestructura verde de la ciudad.

Sobre la base de indicador BAF, se han desarrollado programas similares para el desarrollo urbano de Malmö (Suecia, 2001) o de la ciudad de Seattle (Estados Unidos, 2007). Kazmierczak y Carter (2010) han analizado diversas iniciativas mundiales desarrolladas en los últimos años y que tienen como principio de actuación la aplicación de indicadores de “verdeamiento” de áreas urbanas para limitar los efectos de la isla de calor o mejorar el confort climático general de las ciudades. Se trata de ejemplos de buenas prácticas de desarrollo urbanístico orientadas a la mitigación de efectos que puede originar el cambio en las condiciones climáticas futuras, que son las que mayores resultados están teniendo como acciones efectivas de adaptación al cambio climático en la escala local. En esta línea de actuación, e incluida asimismo en las iniciativas de la plataforma Climate-Adapt, se está aplicando esta filosofía de incrementar las zonas verdes urbanas en Stuttgart (Alemania), dentro del proyecto municipal de creación de un corredor de ventilación verde para reducir el impacto térmico de la isla de calor urbana.

El programa de adaptación al cambio climático de la ciudad de Rotterdam reviste enorme interés por la concepción integral del fenómeno (subida nivel del mar, intrusión marina, incremento de eventos de inundación, incremento de la isla de calor urbana y *discomfort* climático) y de la respuesta (medida estructural y de planificación territorial). Así, se ha diseñado la *Estrategia de*

Adaptación al Cambio Climático para la ciudad³, que es un documento de planificación territorial y rediseño urbano para la adaptación a la subida de temperaturas (creación de jardines colectivos dentro de manzanas edificadas, tejados verdes, empleo de vegetación para cubrir los diques), a la subida del nivel de mar (recrecimiento de diques existentes y nuevos diques, elevación de cota de edificación) y al incremento de inundaciones (depósitos pluviales, colectores de agua pluvial, espacios de inundación natural en la ciudad). El plan se acompaña de la creación de un gran corredor verde-azul, un canal desde el antiguo río Maas al Zuiderpark en Rotterdam que, junto a los efectos ambientales (zona verde y azul), se plantea como línea de suministro de agua en épocas de aridez al aprovechar los lagos de este gran parque como depósitos de almacenamiento de agua para tal fin.

Imagen 1. Construcción de depósitos pluviales bajo un área recreativa (parque público) en Rotterdam



Fuente: Rotterdam Climate Initiative.

En España, algunas ciudades del litoral mediterráneo, como Barcelona, Calvià, Marbella, Reus, Valencia y Málaga, han aprobado planes o estrategias locales de adaptación al cambio climático y mejora de la resiliencia urbana. Por ejemplo, es notable la construcción de depósitos pluviales llevada a cabo

³ Este interesante programa de adaptación al cambio climático en la ciudad de Rotterdam puede consultarse en: http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/en/100percent-climate-proof/projecten/rotterdam-climate-change-adaptation-strategy?portfolio_id=181 (consultado en agosto de 2015).

en el Ensanche de Barcelona para reducir el impacto de las inundaciones en la ciudad. Pero sorprende que no son muchos, todavía, los ejemplos que pueden encontrarse en los municipios turísticos de esta parte del territorio español. Contrasta esta situación con el impulso que ha merecido esta cuestión, por contra, en el País Vasco, donde numerosos municipios han elaborado planes específicos de acción, ordenanzas municipales y han desarrollado ya medidas concretas en los últimos años (por ejemplo, Bilbao, Balmaseda, Honsarribia, Areatza, Tolosa, Durango, Amurrio, etc.). El propio Gobierno vasco ha desarrollado un manual de planeamiento urbanístico (2012) donde insta a los municipios a aplicar medidas de acción y adaptación ante el cambio climático.

La Federación Española de Municipios y Provincias, por su parte, ha desarrollado en los últimos años diferentes iniciativas para fomentar la acción local en materia de lucha y adaptación al cambio climático. A la creación de la mencionada Red de Ciudades Españolas por el Clima, ha seguido la elaboración, desde 2009, de informes anuales de políticas locales de lucha contra el cambio climático, la preparación de un documento informativo *Vulnerabilidad al cambio climático a escala local* (2010)⁴ y la redacción de la *Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático* (2012)⁵, con pautas para la redacción y puesta en marcha de ordenanzas municipales en los sectores relacionados con la mitigación y adaptación al cambio climático (energía, transporte, residuos, agua, vivienda, planeamiento urbano, participación, fiscalidad).

Asimismo, la empresa de implantación urbana en aquellos sectores dependientes del agua para su desarrollo y expansión ha realizado estrategias y medidas para la adaptación al cambio climático que merecen destacarse. El caso del sector turístico es el más destacado en este sentido (Olcina y Vera, 2016). Tanto operadores turísticos como cadenas hoteleras han desarrollado desde los años noventa una serie de estrategias y medidas de adaptación al cambio climático que están dando resultados concretos de gran interés. Grupos hoteleros internacionalizados están desarrollando sus propias estrategias de reducción de consumo de energía y agua, en el marco de políticas generales de reducción de costes empresariales, que han supuesto la renovación de instalaciones eléctricas y de agua, con efectos palpables de disminución de consumo por plaza hotelera y día en estas dos variables

⁴ Federación Española de Municipios y Provincias (2010), *Vulnerabilidad al cambio climático a escala local*, Ministerio de Medio Ambiente y Red Española de Ciudades por el Clima, Madrid, 310 p.

⁵ Federación Española de Municipios y Provincias (2012), *Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático*, Ministerio de Medio Ambiente y Red Española de Ciudades por el Clima, Madrid, 253 p.

ambientales. De manera que, aunque insertas en concepciones de rentabilidad económica de la empresa, debe valorarse muy positivamente los resultados que se están obteniendo a escala de instalación hotelera, que suponen un ejemplo para cadenas hoteleras de menor dimensión u hoteles de titularidad familiar. Las actuaciones de adaptación que han realizado empresarios turísticos particulares en los últimos años básicamente están dirigidas al fomento del ahorro de energía y agua en apartamentos y, sobre todo, en instalaciones hoteleras, que se ha difundido al resto de edificaciones de menor tamaño en diversos destinos turísticos. Es lo que sucede en la Costa Brava, la Costa Dorada, Mallorca, Benidorm, el litoral de Murcia y en la Costa del Sol. En estos casos, surge primero la necesidad de ahorrar agua, a partir de la década de los años ochenta del pasado siglo, y a ello se ha unido la necesidad del ahorro de energía en los últimos quince años, debido al incremento de tarifas eléctricas y al aumento del gasto de energía eléctrica anual de una instalación hotelera. Además suele coincidir con épocas de sequía en destinos turísticos, lo que motiva la realización de acciones de iniciativa privada que complementan o, incluso, suplen las acciones desarrolladas por las Administraciones públicas. Así ha ocurrido en Benidorm, tras la sequía de 1978; en el litoral catalán, tras las sequías de 1990-1995 y de 2008; en Baleares y en la Costa del Sol, por la sequía de 1990-1995; y en el litoral de Murcia por las frecuentes sequías desde los años ochenta del pasado siglo.

La ciudad de Alicante, urbe mediterránea de tradición histórica, con un crecimiento población y urbanístico muy intenso en la segunda mitad del siglo XX, constituye un buen ejemplo de espacio urbano que ha padecido efectos de inundaciones y sequías a lo largo de su historia, con un impacto agravado en las últimas décadas por el aumento de la vulnerabilidad y la exposición a estos dos peligros climáticos. Para reducir las consecuencias de estos episodios se han implantado actuaciones diversas, estructurales y de planificación territorial. Desde los años noventa del siglo pasado, merced a las actuaciones desarrolladas de forma conjunta y coordinada por las Administraciones públicas (regional y local) y la empresa Hidraqua, se ha realizado una apuesta por la sostenibilidad ambiental y territorial a la hora de diseñar medidas de minimización de los efectos de inundaciones y sequías.

Este estudio presenta la relación de actuaciones desarrolladas en la ciudad de Alicante para aumentar la resiliencia ante inundaciones y sequías en las últimas décadas. Un buen ejemplo de apuesta por la adaptación responsable al cambio climático y sus extremos atmosféricos asociados y por las medidas de sostenibilidad ambiental y territorial a la hora de afrontar los retos que la gestión integral del agua urbana requiere en el siglo XXI.

2. EL CLIMA MEDITERRÁNEO, UN CLIMA DE ELEVADO CONFORT PERO CON EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS

El clima mediterráneo presenta una de las variedades climáticas más confortables del mundo. De modo singular, se extiende en el entorno de la cuenca marina del Mediterráneo y es generalmente suave, sin grandes sobresaltos térmicos, con inviernos frescos pero con ausencia de grandes fríos, y veranos calurosos, pero no tórridos. La circulación de la brisa marina atempera los rigores térmicos y dulcifica el ambiente en las áreas costeras.

Estas condiciones ambientales han permitido la ocupación del territorio desde épocas prehistóricas y la implantación de sociedades y actividades económicas diversas. Tan solo la escasez general de precipitaciones ha sido un factor limitante que ha obligado a desarrollar ingenios desde épocas históricas para el aprovechamiento del agua. Estas actuaciones hídricas se han convertido en un símbolo de las civilizaciones mediterráneas hasta la actualidad.

Como norma general, las tierras de la fachada mediterránea española, al estar situadas a sotavento de los flujos húmedos que proceden del Atlántico, reciben menos aportes de precipitación de las borrascas que entran por el oeste peninsular. Por el contrario, las situaciones atmosféricas que arrastran vientos desde el mar Mediterráneo hacia las tierras peninsulares —y Baleares— son los que mayor volumen de lluvias suponen anualmente.

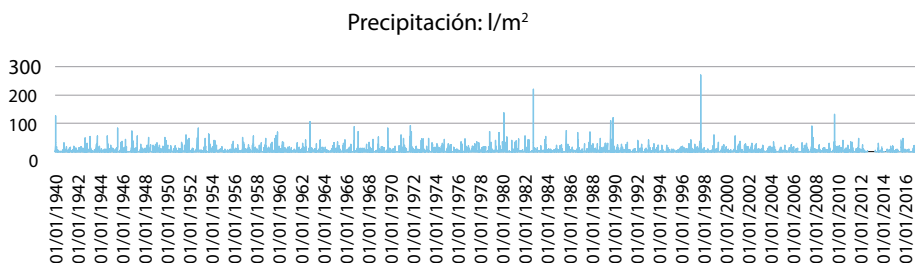
En el litoral mediterráneo español las precipitaciones que se recogen anualmente van disminuyendo de norte a sur hacia el sureste peninsular (sur de Alicante, gran parte de la Región de Murcia y de Almería), para aumentar de nuevo en las tierras de la costa tropical granadina y la Costa del Sol, hasta las estribaciones del estrecho de Gibraltar. De tal manera, la distribución de precipitaciones muestra una evidente relación con la presencia y orientación de los relieves y con la propia disposición de la línea de costa.

Junto a la cuantía, en general poco abundante y desigualmente repartida a lo largo del año, de las precipitaciones en la fachada mediterránea peninsular, otro rasgo inherente a esta modalidad climática es la irregularidad de estas lluvias; irregularidad intraanual, puesto que las mayores precipitaciones se concentran en los meses equinocciales (otoño y primavera), e irregularidad interanual, donde se alternan años muy poco lluviosos, que son los más frecuentes, con años muy lluviosos (1989, 2017). Estos últimos se relacionan con el desarrollo de mecanismos de circulación atmosféricas de variabilidad como la oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la oscilación del Mediterráneo occidental (WeMO).

La alternancia de años secos y lluviosos tiene una implicación importante en la planificación del agua de estos territorios, que deben tener prevista la elevada irregularidad interanual de las lluvias para poder garantizar en todo momento las demandas existentes. De ahí la apuesta que en muchos territorios, especialmente en las ciudades del litoral mediterráneo español, se ha hecho por la diversificación en las fuentes de suministro de agua para evitar posibles problemas de abastecimiento vinculados a la irregularidad anual de las lluvias.

Sequías y episodios de lluvia torrencial caracterizan, singularmente, el clima mediterráneo. Son los extremos atmosféricos que con mayor frecuencia alteran el funcionamiento de esta variedad climática. Un clima con elevado confort y altamente salutar, pero que en ocasiones manifiesta su lado menos agradable, con el desarrollo de peligros meteorológicos.

Figura 1. Precipitación diaria en Alicante (1940-2016)



Fuente: AEMET. Observatorio Ciudad Jardín (Alicante).

2.1. Sequías y abastecimientos de agua

Las secuencias de sequía son un rasgo propio del clima mediterráneo. En realidad, los años con lluvias por debajo de las medias normales es lo habitual. El litoral mediterráneo español es partícipe de las secuencias de sequía que afectan al resto del territorio español, las denominadas sequías ibéricas, que suponen descensos de precipitación superiores al 40% en un año. Pero también se desarrollan en este espacio sequías surestinas, propias del territorio del sureste peninsular, que no afectan al resto de la península Ibérica.

Las sequías ibéricas se originan por la frecuencia de la instalación de anticiclones a lo largo del año. En estas condiciones no se dan circunstancias favorables para el desarrollo de precipitaciones, que se reducen de manera significativa respecto a los valores normales. Las sequías surestinas afectan, exclusivamente, al territorio que integran la región climática del sureste

ibérico, además de estar causadas por la presencia de jornadas anticiclónicas, aunque en una proporción de días normal, registran numerosos días de poniente, esto es, de paso de borrascas y frentes que, tras atravesar la península Ibérica, llegan sin efectividad pluviométrica a este extremo del territorio.

Es interesante destacar que en años muy secos que se registran en el área mediterránea española, especialmente en el territorio del sureste peninsular, los valores de lluvia que se pueden recoger en un año son muy inferiores a los que se anotan, por término medio, en localidades de la franja del Sahel africano, en el borde meridional del desierto del Sáhara. Eso da muestra de la intensidad que alcanza en esta parte de España la reducción de lluvias, algunos años originada por las secuencias secas. Así, Torrevieja, en el litoral meridional alicantino, acumuló apenas 73 mm en 1961 y Pilar de la Horadada, solo 83 mm en 1995; en la capital murciana, se recogieron apenas 90 mm en 1945.

Alicante, en este contexto geográfico, sufre con regularidad los efectos pluviométricos del desarrollo de episodios de reducción de lluvia (sequías anuales y secuencias largas de sequía), de manera que su sistema de abastecimiento de agua ha debido adaptarse, desde comienzos del siglo XX, a este tipo de coyuntura para evitar o reducir al máximo sus efectos.

Desde la utilización de fuentes y pozos urbanos, a la traída de aguas desde el Alto Vinalopó hasta Alicante, pasando por la conexión a mediados del siglo XX con la Mancomunidad de los Canales de Taibilla, sin olvidar la llegada de las aguas del trasvase Tajo-Segura o, recientemente, la incorporación de recursos de agua no convencionales procedentes de la depuración y la desalación, se han desarrollado una serie de actuaciones necesarias para la garantía del abastecimiento hídrico de la ciudad, motivadas, en todos los casos, por los efectos de episodios de sequía desarrollados en años previos, que actuaron de incentivos para la búsqueda de soluciones eficaces que pusieran solución a la dependencia del abastecimiento de la ciudad ante coyunturas climáticas adversas. En la actualidad, puede afirmarse que la garantía de abastecimiento de agua en la ciudad de Alicante es prácticamente absoluta y que ha dejado de ser dependiente del desarrollo de las sequías, lo que supone el haber realizado una gestión del agua eficaz, que ha buscado diversificar las fuentes de suministro como solución racional y sensata para la garantía del abastecimiento.

2.2. Episodios de lluvia extrema en el clima mediterráneo

Como se ha señalado, la irregularidad de las lluvias es un rasgo propio de la precipitación mediterránea; y , junto a ello, la concentración de las

mismas en corto espacio de tiempo. Este es el aspecto más destacado a efectos de la planificación de infraestructuras de evacuación de aguas en los entornos urbanos para reducir el riesgo de inundaciones.

Junto a los climas del ámbito tropical, debido a la génesis de ciclones tropicales o de lluvias de tipo monzónico, el área geográfica de la cuenca del Mediterráneo es una de las más destacadas del mundo en el registro de intensidades diarias y horarias de las precipitaciones.

Los registros oficiales de lluvia en 24 horas en el territorio del litoral mediterráneo español ofrecen valores récord por encima de los 300 y 400 mm. Pero hay localidades que han superado ampliamente este dato, duplicando o triplicando ese volumen de precipitación diaria acumulada (como vemos a continuación). Estos registros han ocurrido en condiciones de tiempo atmosférico muy inestables (aire frío en capas altas —vaguadas, gotas frías—). La relación de valores extremos de lluvia por encima de 400 mm/24 h en un día comprende:

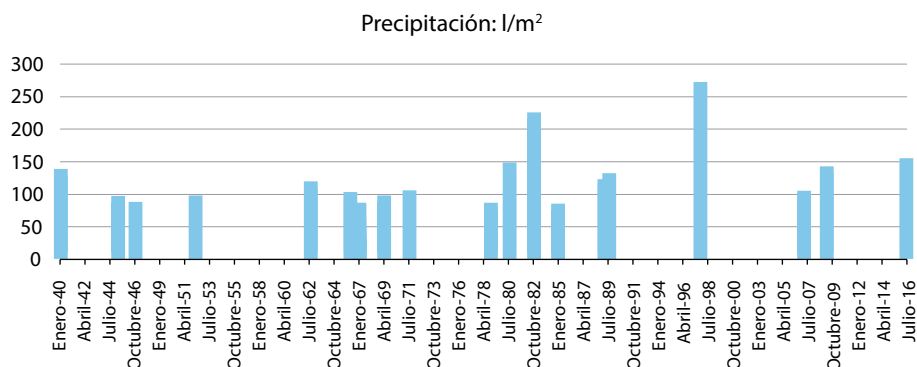
- 1.121 mm en Casas del Barón (Valencia), 20 de octubre de 1982 (estimado).
- 871 mm en Jávea (Alicante), 2 de octubre de 1957.
- 817 mm en Oliva (Valencia), 3 de noviembre de 1987.
- 790 mm en La Pobla del Duc (Valencia), 4 de noviembre de 1987.
- 720 mm en Gandía (Valencia), 3 de noviembre de 1987.
- 632 mm en Bicorp (Valencia), 20 de octubre de 1982.
- 600 mm en Albuñol (Granada) y en Zúrgena (Almería), 19 de octubre de 1973.
- 536 mm en Escorca Son Torrella (Mallorca), 22 de octubre de 1959.
- 520 mm en Tavernes de Valldigna (Valencia), 11 de septiembre de 1998.
- 520 mm en Sumacarcers (Valencia), 4 de noviembre de 1987.
- 500 mm en Benifairó de Valldigna (Valencia), 11 de septiembre de 1996.
- 460 mm en Escorca Gorg Blau (Mallorca), 29 de septiembre de 1940.
- 450 mm en Alforja (Tarragona), 10 de octubre de 1994.
- 430 mm en Cadaqués (Girona), 14 de octubre de 1986.
- 426 mm en Cofrentes y Jalance (Valencia), 20 de octubre de 1982.
- 425 mm en Denia (Alicante), 3 de noviembre de 1987.
- 416 mm en Alcalalí (Alicante), 12 de octubre de 2007.
- 412 mm en Gallinera (Alicante), 7 de mayo de 1982.
- 410 mm en Alginet (Valencia), 6 de noviembre de 1983.
- 409 mm en el cabo de San Antonio (Alicante), 1 de octubre de 1957.

Hay un dato realmente sorprendente de lluvia máxima diaria en el sureste ibérico, que es el estimado en la célebre Riada de Santa Teresa, durante la

noche del 14 al 15 de octubre de 1879, la mayor de la que hay noticia histórica en la cuenca del Segura, en el río Vélez, una de las ramas madres del Guadalentín, se recogieron más de 600 mm en una hora. La localidad de Sueca (Valencia) tiene anotada la intensidad más elevada de España en un intervalo de 2 horas y 30 minutos (296 mm, 23 de septiembre de 2008). En 20 minutos, la estación del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), ubicada en la localidad valenciana de Manuel, registró 90,6 mm el 1 de agosto de 1993. Y en tan solo 1 minuto, la intensidad más elevada anotada en España corresponde a la localidad de Montserrat (Valencia), el 10 de octubre de 2008 (10,2 mm).

Pero, sin duda, los valores horarios, en sentido estricto, de las lluvias intensas que se registran en el litoral mediterráneo español son el dato pluviométrico que determina en mayor medida el carácter de la precipitación en esta región climática.

Figura 2. Gráfico de lluvias en Alicante (20 precipitaciones más intensas)



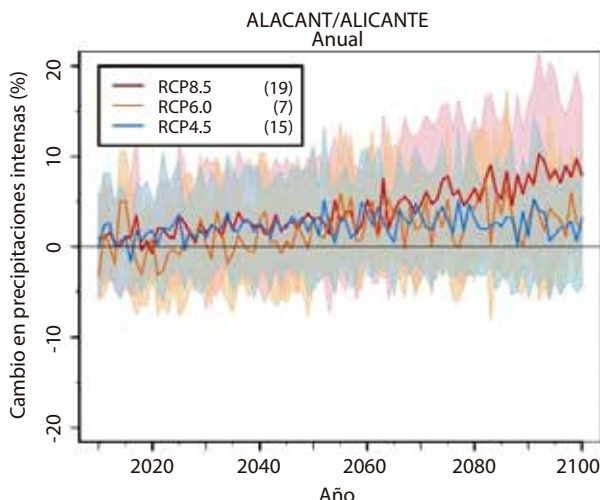
Fuente: AEMET. Observatorio Ciudad Jardín (Alicante).

Se trata de valores de intensidad de las precipitaciones (diaria y horaria) que deben conocerse a efectos de calibrar la capacidad de evacuación de las redes de drenaje urbana en las ciudades del litoral mediterráneo y, aunque resultan realmente elevados y suponen un indudable encarecimiento de las obras de avenamiento urbano, son valores de salvaguarda de la vida humana y de evitación de elevadas pérdidas económicas para estos espacios urbanos.

Además, este aspecto de la intensidad horaria de las precipitaciones es un hecho que se ha comprobado más frecuente en las últimas décadas en el

litoral mediterráneo español y, si se confirman los modelos climáticos, se estima que será un rasgo destacado de las precipitaciones en esta parte de España en las próximas décadas.

Figura 3. Cambio en las precipitaciones intensas. Alicante (2000-2100)



Fuente: AEMET. Proyecciones climáticas para el siglo XXI.

2.3. Influencia del cambio climático

Desde que se publicó el primer informe de cambio climático elaborado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 1988) hasta el momento actual, después de tres décadas de investigación de la hipótesis de cambio climático por efecto invernadero, hay una serie de manifestaciones en la atmósfera terrestre cuya negación resulta cada vez más difícil:

- El incremento de temperaturas que se ha registrado en las tres últimas décadas no encuentra explicación solo por causas exclusivamente naturales (radiación solar). Hay otro factor que está alterando el funcionamiento normal del balance energético del planeta al originar una incentivación del poder calorífico de la radiación de onda larga, originada en la superficie terrestre y marina, que no sale al exterior porque queda confinada en los primeros kilómetros de la atmósfera. Y este hecho está en relación con la presencia de gases primarios procedentes de la actividad económica humana (CO_2 , óxido nitroso y metano) y depositados en la atmósfera, o de la interacción de estos con otros gases cuya contribución real

al balance energético planetario sigue siendo una incertidumbre, como el ozono troposférico.

- Una atmósfera que pierde su equilibrio térmico y se vuelve más cálida o más fría es una atmósfera que registra procesos de reajuste energético más violentos; es decir, los tipos de tiempo cambian con más rapidez e intensidad. Se hace más frecuente la génesis de situaciones de rango extraordinario. Esto es especialmente notable en las latitudes medias, al ser el escenario de desarrollo de los movimientos de expansión de las masas de aire frías (de norte a sur) y cálidas (de sur a norte).
- Desde 1980, las temperaturas han subido más en latitudes medias y altas que en las intertropicales y, especialmente, en el hemisferio norte. Ello se refleja tanto en los registros instrumentales de los observatorios como en las termografías realizadas a partir de datos de satélites.

La cuenca del Mediterráneo es una de las áreas mundiales donde se estima que puedan ser más evidentes los cambios en las condiciones climáticas durante las próximas décadas. La subida de temperaturas y el descenso de precipitaciones obligan a tomar medidas para la adaptación para reducir el *discomfort* térmico previsto y la reducción de recursos de agua convencional que traería consigo una disminución de las lluvias. El estudio *Proyecciones climáticas para el siglo XXI* (AEMET, 2015), actualización de las proyecciones elaboradas en 2011, ha manejado tres variables (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) en el análisis de la evolución modelizada del clima en España para las próximas décadas. Los resultados vienen a confirmar los datos apuntados en informes anteriores de la propia Agencia Estatal y de la Oficina Española de Cambio Climático. Para el conjunto peninsular, el incremento en las temperaturas máximas en 2100 se estima entre 1 °C y 7 °C para diferentes escenarios de emisión de gases; en las temperaturas mínimas el aumento se cifra entre 1 °C y 6 °C; y, por su parte, las precipitaciones se reducirían entre un 4 y 8% respecto a las medias del periodo 1961-2000-2005, con un margen de incertidumbre del 10%.

Es interesante destacar los valores de diferentes variables térmicas y pluviométricas calculados en este informe, con horizonte 2100, para las regiones del litoral mediterráneo, objeto de análisis, puesto que de su evolución futura va a depender la planificación de la temporada turística y la propia planificación hidrológica, básica para la garantía de suministro a las áreas turísticas de este gran espacio regional. La tabla 1 resume los valores de cambio en las variables climáticas para los territorios de la fachada mediterránea peninsular.

Tabla 1. Cambios en las variables climáticas de las regiones del Mediterráneo español (horizonte 2100)

	Cataluña	Baleares	Com. Valenciana	Murcia	Andalucía
Tª máxima (°C)	+1,5 a +5,5	+2,5 a +5,5	+1 a +5	+2 a +5	+2,5 a +5,5
Duración olas de calor (días)	10-35	10-25	5-35	10-45	7-27
Días cálidos (%)	20-50	25-55	15-50	20-55	20-50
Tª mínima (°C)	+2,5 a +5,5	+2 a +5	+1 a +4,5	+2,5 a +4,5	+2 a +4,5
Días de heladas (días)	-20 a -35	0	-5 a -8	-3 a -7	-5 a -7
Noches cálidas (%)	20-50	20-50	15-50	20-50	20-50
Cambio volumen precipitación (%)	0 a +5	-5 a -10	0 a -10	0 a -5	-7 a -15
Cambio precipitaciones intensas (%)	0 a -5	0 a -2,5	0 a -7	+1 a -1	+2 a -5
Duración periodos secos (días)	0	0 a +2	0 a +2	0 a +2,5	+2 a +4
Nº días de lluvia (días)	+2 a +10	-5	-2 a +5	-2,5 a +2,5	-5

Fuente: AEMET⁶. Proyecciones climáticas para el siglo XXI. Elaboración propia.

En definitiva, el clima en el litoral mediterráneo español, si se cumplen estas previsiones, perderá confort y se incrementarán los eventos extremos de temperatura (golpes de calor) y precipitación (sequías y lluvias torrenciales).

Un aspecto que guarda estrecha relación con el comportamiento térmico y pluviométrico reciente en el litoral mediterráneo es la temperatura del agua del mar registrada frente a las costas del este peninsular. Se ha comprobado un calentamiento de las aguas del Mediterráneo occidental en los meses cálidos del año, prolongando, asimismo, el periodo de temperaturas elevadas (< 25 °C) entre junio y septiembre. Para el conjunto de la cuenca del Mediterráneo, se ha estimado un incremento absoluto de 0,22 °C por década, desde 1973 a 2008 (Skliris *et al.*, 2012). Por su parte, Miro Pérez (2014), a partir del uso de datos de satélite pertenecientes a la base de datos de la NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder, ha calculado el incremento térmico en las aguas del litoral próximo a la Comunidad Valenciana, para el periodo 1985-2007, estimando una pendiente anual por década de 0,26 °C de

⁶ La interpretación de estas variables se encuentra en: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos/ayuda (consultado en junio de 2015).

incremento (véase tabla 2). Lo más significativo de su análisis es que la responsabilidad del calentamiento recae especialmente en los meses de primavera e inicio de verano (abril a junio) y, en menor medida, octubre. Esta presencia de aguas más cálidas frente a las costas del Mediterráneo español a lo largo del año supone también el aumento de la peligrosidad de formación más frecuente de tormentas intensas en meses estivales del año, cuando el calendario de riesgo de este tipo de episodios se limitaba, hasta finales del siglo pasado, a los meses tardo-estivales o propiamente otoñales.

Tabla 2. Incremento de temperatura en las aguas del Mediterráneo occidental frente a la Comunidad Valenciana (1985-2007)

	Pendiente Sen en °C/década	Magnitud absoluta de cambio entre 1985 y 2007 (según pendiente Sen) en °C
Enero	0,16	0,36
Febrero	0,17	0,39
Marzo	0,21	0,47
Abril	0,54	1,24
Mayo	0,68	1,57
Junio	0,68	1,57
Julio	0,40	0,92
Agosto	0,11	0,25
Septiembre	-0,11	-0,26
Octubre	0,21	0,49
Noviembre	0,08	0,18
Diciembre	0,07	0,16
Año	0,26	0,61

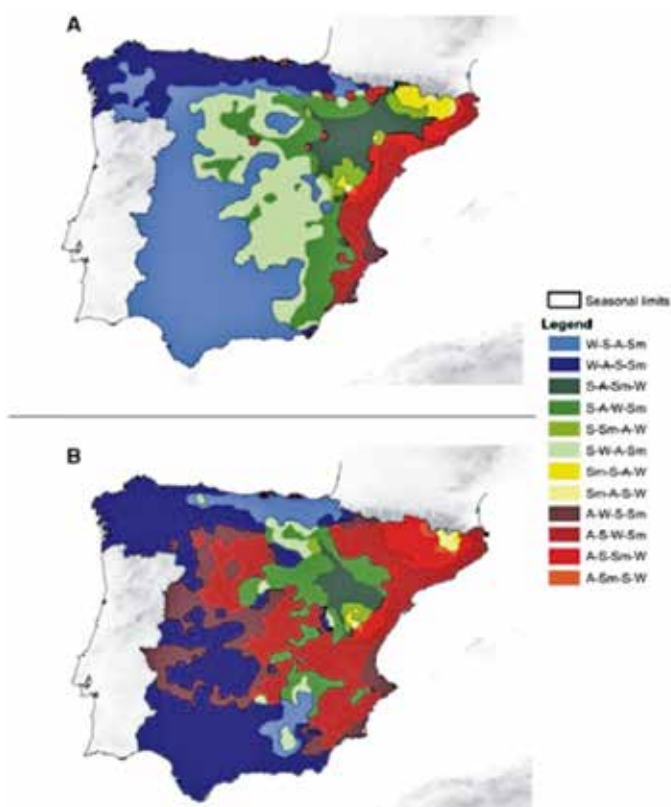
Fuente: Miró Pérez, 2014.

A efectos de la evolución reciente de las precipitaciones y de la planificación hidráulica y territorial en el litoral mediterráneo español, es necesario destacar dos aspectos de gran importancia:

- Se ha comprobado un incremento de precipitaciones en otoño en la mitad este peninsular. Esto quiere decir que las lluvias de primavera pierden peso en el reparto anual de precipitaciones y, por contra, gana importancia la cuantía de lluvias acumulada en los meses de otoño. Es un indicio de cambio climático y de sus efectos en el comportamiento

de las precipitaciones, que se está manifestando en la fachada mediterránea peninsular en las últimas décadas, y con tendencia a incrementarse.

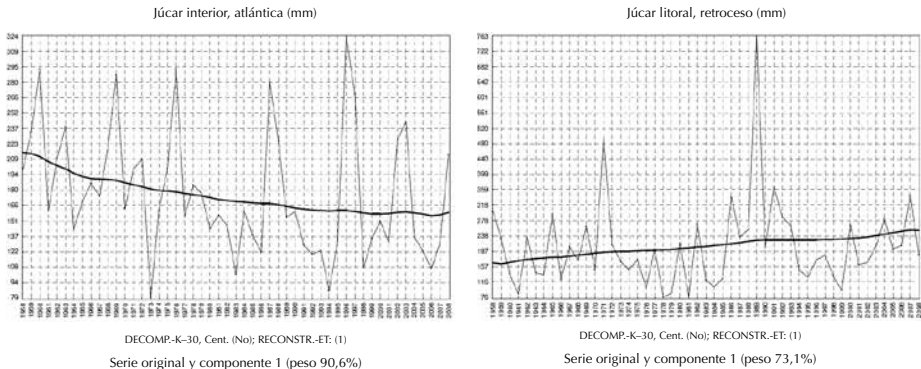
Figura 4. Cambios en los patrones estacionales de precipitación en la península Ibérica en 1976-2005 (inferior), respecto al periodo 1946-1975 (superior)



Fuente: De Luis, Brunetti, González-Hidalgo, Longares y Martín Vide (2013).

- Asimismo, para algunos ámbitos de planificación hidrológica, como en el Júcar o Segura, analizando tendencias recientes de precipitación, se comprueba que las lluvias se reducen en la cabecera de estas cuencas hidrológicas, mientras manifiestan una tendencia al aumento en las áreas litorales de estos ámbitos. Esto tiene una importancia destacada, puesto que los aportes de cabecera en las cuencas hidrográficas mediterráneas son fundamentales para garantizar el ciclo hidrológico anual.

Figura 5. Cambios en los patrones territoriales de precipitación en la demarcación hidrográfica del Júcar (1958-2010)



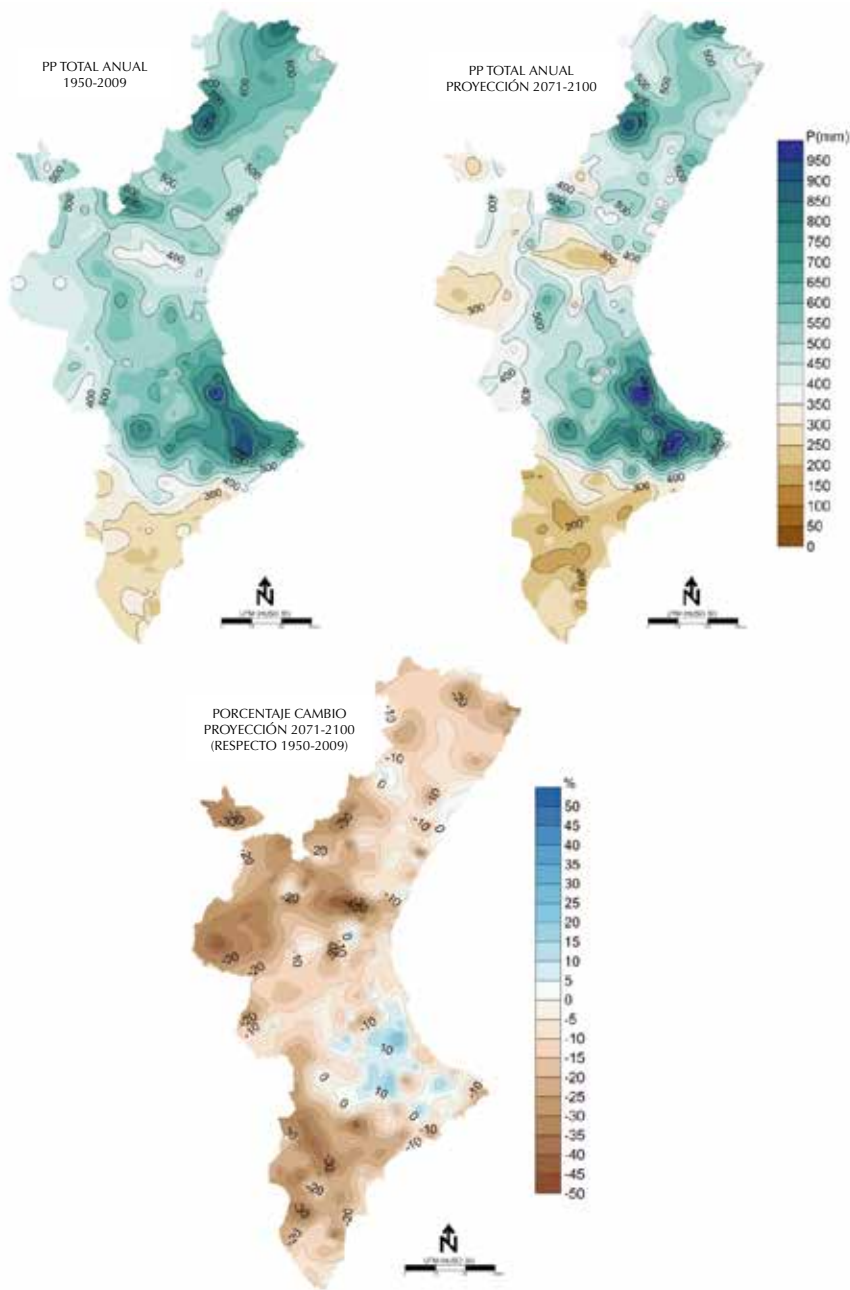
Fuente: Miró Pérez (2016).

Ambos aspectos hablan de una menor efectividad de las lluvias frontales procedentes de borrascas atlánticas que cruzan las tierras peninsulares y, por el contrario, de una tendencia al aumento de las lluvias mediterráneas de otoño, de carácter más espasmódico y torrencial, que las hace menos aprovechables a efectos de planificación del agua y su uso para abastecimiento con las actuales infraestructuras hidráulicas existentes. Y obliga a pensar en actuaciones que vayan adaptándose a este carácter, menos regular y más torrencial, de las lluvias.

En la Comunidad Valenciana la modelización de precipitaciones señala una reducción de lluvias significativa en gran parte de su territorio y singularmente en los meridionales. No obstante, se muestra una tendencia futura al aumento de lluvias en el ámbito geográfico que, por lo general, más precipitaciones anuales recibe (comarcas meridionales de la provincia de Valencia y septentrionales de la de Alicante). La figura 6 muestra la evolución prevista en las precipitaciones en el territorio valenciano, con horizonte 2100.

Todo esto revela la importancia de contabilizar la modelización climática en la planificación del territorio y de los recursos naturales esenciales para el funcionamiento de un país. En el marco de la planificación sostenible de los recursos de agua donde las transferencias de agua entre cuencas hidrográficas van a tener más dificultad en desarrollarse, la garantía del abastecimiento futuro de áreas turísticas del litoral mediterráneo español y de ambos archipiélagos a partir del uso de aguas “no convencionales” (depuración-reutilización y desalación) será no solo una opción, sino una necesidad.

Figura 6. Evolución de las precipitaciones en la Comunidad Valenciana (horizonte 2100)



Fuente: Miró y Olcina, 2016.

Tabla 3. Síntesis de los efectos del calentamiento térmico en las regiones del Mediterráneo español a efectos de planificación del agua en las áreas urbanas

Elemento climático	Efectos previstos
Temperaturas	– Aumento de la temperatura media anual – Incremento significativo en las temperaturas mínimas nocturnas (aumento de la frecuencia de “noches tropicales” > 20 °C) – Aumento de la evaporación – Pérdida de confort climático en los meses centrales del verano
Precipitaciones	– Reducción de las precipitaciones, más notable hacia los territorios meridionales del litoral mediterráneo, y especialmente en el sureste ibérico – Cambio en los patrones estacionales de precipitación con mayor concentración de lluvias en otoño y reducción en primavera – Tendencia al incremento de las lluvias en la zonas litorales frente a las de interior – Aumento de temperatura en el mar Mediterráneo, con mayor riesgo de torrencialidad en las precipitaciones
En resumen, pérdida de regularidad y de confort climático y aumento de extremos pluviométricos (secuencias de sequía, episodios de lluvia intensa y torrencial)	

Fuente: elaboración propia.

2.4. Retos para el ciclo urbano del agua

Los extremos atmosféricos del clima mediterráneo suponen un reto para el ciclo urbano del agua. Las ciudades mediterráneas deben estar preparadas para soportar meses de escasa precipitación y, en sentido contrario, para aguantar lluvias torrenciales que originan anegamientos e inundaciones. Se requiere una planificación hidráulica y territorial “de extremos” que garantice el agua en un espacio geográfico sometido a episodios de sequía y con demandas urbanas importantes. E igualmente, que evite la pérdida de vidas humanas y la génesis de pérdidas económicas elevadas a consecuencia de lluvias muy abundantes en corto espacio de tiempo.

La tabla 4 resume los retos de la planificación urbana del agua en el litoral mediterráneo en relación con la existencia de extremos hidrológicos como rasgo propio de la precipitación en esta variedad climática.

Tabla 4. Retos de la planificación urbana del agua en el litoral mediterráneo

Planificación en situación de sequía	– Fuentes de abastecimiento diversas (recursos tradicionales —superficiales y subterráneas— y “no convencionales”, depuración y desalación) – Eficiencia en las redes (reducción de pérdidas al máximo) – Monitorización continua. Telemando – Redes alternativas de distribución de agua depurada – Apuesta por los sistemas terciarios y cuaternarios de depuración (colaboración con organismos regionales responsables de la depuración de agua residual) – Construcción de depósitos de distribución dimensionados para situaciones de escasez – Planes municipales de emergencia ante sequías – Sistemas tarifarios que penalicen el exceso de consumo – Sensibilización social continua de los beneficios del ahorro del agua
Planificación de episodios de lluvia torrencial	– Construcción de colectores de agua pluvial de gran capacidad – Adecuación de sistemas tradicionales de alcantarillado a lluvias intensas – Construcción de depósitos pluviales – Construcción de espacios públicos (parques, explanadas) inundables – Sistemas de alerta a las poblaciones (apps específicas en móviles) – Implantación de sistemas de drenaje urbano sostenible

Fuente: elaboración propia.

3. RECURSOS HÍDRICOS

3.1. Antecedentes históricos del abastecimiento de Alicante

La realidad histórica de la ciudad de Alicante ha sido la indigencia hídrica secular. La falta de recursos propios, como consecuencia de las condiciones morfoclimáticas del entorno en donde se enclava, ha conducido a la necesidad de obtener recursos fuera de su enclave, o al acopio de los mismos desde diversos sistemas que, en cualquier caso, pasan por un concepto de planificación, desarrollo, explotación y gestión de infraestructuras hidráulicas bastante complejo.

En este sentido, se puede enmarcar en tres etapas el desarrollo básico del sistema de abastecimiento de agua potable de Alicante, etapas que han sido desarrolladas paralelamente a un continuo y creciente desarrollo de su capital humano.

- Las aguas hipogeas fundamentan el primer y único sistema de suministro público a la ciudad hasta la primera mitad del siglo XX. El sistema

primigenio, que se remonta cuanto menos a la época musulmana, al parecer, debió de consistir en procedimientos elementales de elevación de aguas poco profundas. Durante los siglos XVII y XVIII, la tecnología permite elaborar minados y excavación de pozos y galerías, constituyendo las norias y los molinos de agua parte esencial de la economía hidráulica, que perduran hasta los albores del siglo XX.

- La creciente demanda de recursos y los periodos recurrentes de sequía fueron el estímulo que motivó desde fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX la ejecución de notables obras hidráulicas. La primera de ellas fue la traída de aguas de La Alcoraya, cuya inauguración tuvo lugar en 1881. Su distribución domiciliaria la realizaron los aguadores, que recorrían la ciudad con sus cántaros procedentes de las cinco fuentes instaladas en el espacio urbano. Este primer intento fue secundado por un nuevo proyecto, si cabe aún más ambicioso e innovador, el proyecto del Canal de Alicante que, con una longitud total de 48 km, transportaría en 1898 las aguas de los pozos artesianos de Sax, sitios en el Alto Vinalopó. El caudal aportado fue de 10 l/s, que repartidos entre el censo del momento, suponía una dotación de 21,6 l/hab/día, dotación superior, con mucho, a la que figuraba en ese momento en otras capitales.

La Sociedad General de Aguas de Barcelona, responsable del abastecimiento a la ciudad desde el año 1926, inicia hacia mediados de los años treinta de ese siglo importantes inversiones que se materializarían en el aumento de la capacidad de transporte de la traída de aguas, la ampliación de la red urbana, la reprofundización de los pozos y la adquisición de nuevas captaciones subterráneas; aunque este último hecho se produciría ya en los años setenta. Se llega, de este modo, al final de un periodo de consolidación y expansión del abastecimiento urbano y a la municipalización del servicio a través de la Sociedad de Aguas de Alicante.

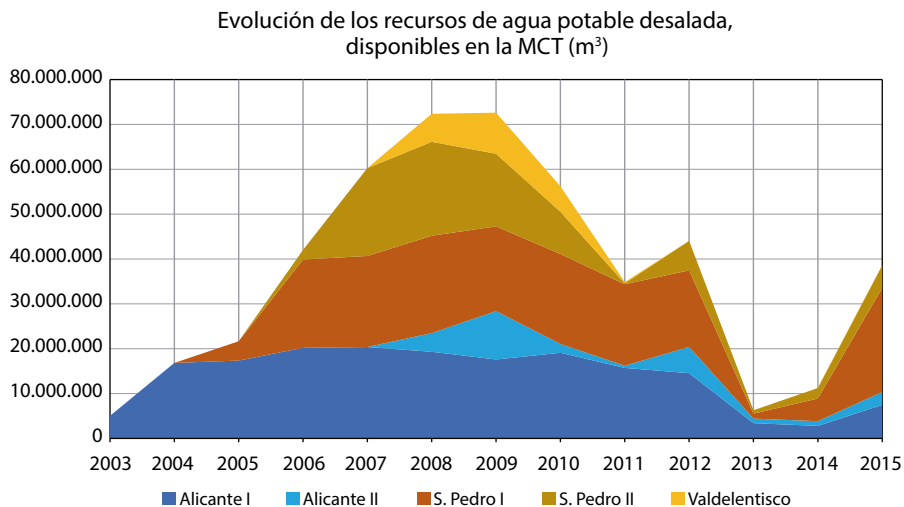
- Las nuevas fuentes de recursos hídricos pronto se muestran insuficientes para la creciente demanda, sobre todo del litoral, lo que obliga al Ayuntamiento de Alicante a integrarse en la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, que disponía de caudales procedentes del río Taibilla, ubicado en la vecina cuenca del Segura. Sin embargo, pronto, en la década de los sesenta, la propia Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT) se ve desbordada para satisfacer las demandas de sus comuneros, que habían pasado de 2 a 26 en tan solo una diez años.

En este contexto, surge a la luz pública en 1967 el Proyecto del Trasvase Tajo-Segura, cuya conclusión va pareja a las nuevas infraestructuras que

realiza Aguas de Alicante, vertebradas en dos líneas de actuaciones principales: la mejora del transporte de los caudales procedentes del Alto Vinalopó, mediante el doblaje y sustitución del primitivo Canal del Cid en todo su tramo de mampostería, trabajos que aún hoy están vigentes y permiten trasegar caudales superiores a 2.000 l/s; y diversificar y dirigir las captaciones de agua subterráneas hacia acuíferos con mejor calidad de agua y mayores recursos.

Sin embargo, todos estos esfuerzos se han tornado insuficientes y las necesidades de agua seguirán creciendo, según las previsiones futuras, por lo que la etapa contemporánea busca sus nuevas fuentes de recursos en el agua desalinizada, como las del Canal de Alicante I y II, gestionadas por la MCT, con una producción nominal de 50.000 y 65.000 m³/día, respectivamente, de agua desalinizada para consumo humano; y la reciente puesta en marcha de la desaladora de la Marina Baja, situada en Mutxamel, gestionada por Aguas de las Cuencas Mediterráneas (ACUAMED), con una capacidad máxima nominal de 18.000 m³/día, en su primera fase.

Figura 7. Evolución de los recursos hídricos procedentes de desalación en el sistema de abastecimiento de la Mancomunidad de Canales del Taibilla, durante el periodo 2003-2015



La aparición en escena de este tipo de recurso no ha sido masiva, sino que su concurso se ha producido de forma progresiva, iniciándose en el entorno de Alicante, con la disponibilidad de 5 hm³ en el año 2003, procedentes de la primera línea de producción de la desalinizadora de Aguamarga, en

Alicante, e incrementándose de forma escalonada hasta los 28 hm³ de 2009, aportados por las dos líneas de producción de la desalinizadora de Agua-marga, con un mínimo de unos 4 hm³ durante cada uno de los años 2013 y 2014.

3.2. Las garantías de suministro

3.2.1. Evolución y combinación de fuentes de abastecimiento

La gestión de recursos hídricos en las regiones áridas y semiáridas del ámbito mediterráneo, como es el caso de Alicante, es una tarea compleja en la que intervienen un gran número de factores hidrológicos, ambientales y de gestión, que deben considerarse para proporcionar un abastecimiento que permita asegurar y combinar unos niveles mínimos de calidad de vida, así como de protección medioambiental.

Las sequías, tan frecuentes en el ámbito mediterráneo, intensifican aún más estos problemas. Dado que son fenómenos impredecibles (tanto en su ocurrencia como en su duración), la previsión y la preparación son elementos clave para reducir su impacto.

En este sentido, el modelo actual de abastecimiento, utilizado por Aguas de Alicante, EM (AMAEM), combina de forma eficiente dos tipos de recursos:

- Superficiales: procedentes de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla y, por tanto, sin competencias para gestionar su explotación, manteniendo solamente el control de la distribución. Una característica básica de este tipo de recurso es el predominio de los recursos frente a las reservas. El origen de este tipo de recursos se ha diversificado durante los últimos años, incluyendo en la actualidad un importante porcentaje derivado de procesos de desalación.
- Subterráneos: procedentes de concesiones administrativas de aprovechamiento de aguas subterráneas propias —ya sean explotadas con captaciones de titularidad de AMAEM o ajena— y, por tanto, con posibilidades de controlar el ciclo integral de gestión, abarcando tanto su captación, transporte como su distribución. En este tipo de recursos, al contrario que en el caso anterior, priman las reservas frente a los recursos.

Este sistema de uso combinado de aguas de procedencia superficial y subterránea, en donde incluso los orígenes han sido diversificados al máximo

(ya sea en cuanto a fuentes potenciales de recursos, en el caso de aguas superficiales, como a utilización de distintas masas de agua subterráneas, en el caso de aguas subterráneas), ha permitido sentar las bases que proporcionan al abastecimiento, las suficientes garantías de suministro, tan necesarias para un abastecimiento de magnitud creciente como es el de Alicante y sus poblaciones colindantes, como para asegurar el suministro ininterrumpido de agua potable a la población, incluso en épocas especialmente adversas como en las que nos encontramos actualmente inmersos, utilizando para ello tanto los recursos como las reservas de agua subterránea, preservadas durante las épocas de menor demanda.

La mencionada garantía de suministro se fundamenta tanto en una adecuada y eficaz gestión en el uso conjunto de ambos tipos de recursos, como en su integración con otras técnicas de gestión del agua, como pueden ser: la utilización de fuentes alternativas de agua para usos no potables, la utilización de la cesión temporal de derechos, tecnologías de reutilización, etc.

De capital importancia será, por tanto, la correcta planificación del efecto de los cambios que puedan producirse en el futuro sobre la demanda de recursos hídricos y su disponibilidad, por efectos del cambio climático.

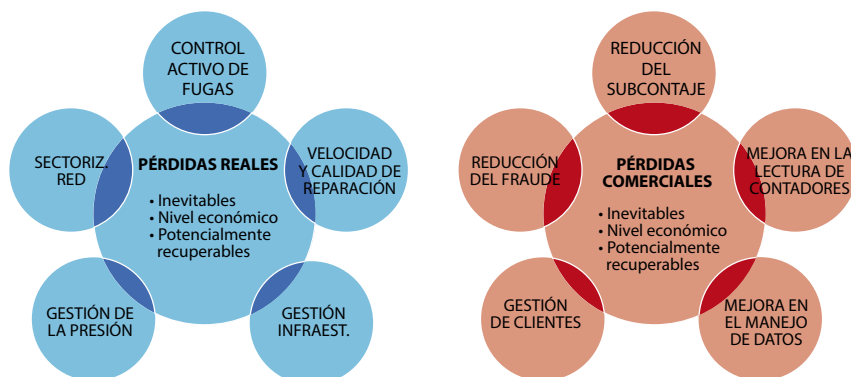
3.2.2. Eficiencia en el uso de los recursos hídricos

En Alicante, la gestión eficaz se entiende como todas las labores orientadas a la reducción de la entrada del recurso a la red de agua potable, a la vez que se cumplen las necesidades y derechos de los abonados y de los grupos de interés, en caudal, presión y calidad del agua.

Además, el ahorro de agua es una imposición en la conurbación de Alicante, la cual se caracteriza por la inexistencia de recursos hídricos naturales (ríos, lagos, acuíferos o neveros) y por episodios de lluvias excepcionales cada 15-20 años, tal y como se ha desarrollado anteriormente.

Sobre la eficiencia en la red, los estudios inciden en las acciones encaminadas a la disminución del Agua No Registrada o ANR, siendo este indicador la diferencia entre el volumen de agua suministrada al sistema y el volumen de agua registrada en los medidores de los clientes (Alegre, 2000, 2006).

A continuación se expone en forma de diagramas las actuaciones técnicas y comerciales destinadas a la reducción del ANR, agrupadas por objetivos (para un mayor desglose, consultar Álvarez *et al.*, 2014).

Figura 8. Actuaciones técnicas y comerciales destinadas a la reducción del ANR

No es objeto de esta exposición el desarrollo exhaustivo de las actuaciones planteadas, pero se exponen someramente aquellas que pueden resultar de mayor interés.

Sectorización de la red. Control de consumos mínimos nocturnos

Actualmente la red de distribución de Alicante es controlada a través de 67 sectores hidráulicos que permiten monitorizar el caudal suministrado a cada zona. La reducida longitud de estos sectores (algo más de ocho kilómetros de red por sector, en promedio) y el uso de algoritmos de análisis muy elaborados para el estudio del caudal mínimo nocturno permiten detectar fugas en fases muy tempranas. En ocasiones, se ha llegado a diagnosticar y localizar fugas de caudales tan reducidos como 500 litros a la hora.

Control activo de pérdidas en la red: priorización en la búsqueda de fugas

Realización de inspecciones preventivas de la red de distribución, según una frecuencia óptima de cada sector. Estas inspecciones se programan mediante la ayuda de la herramienta informática PRIFU aplicada a la búsqueda preventiva en la totalidad de la red.

Gestión de infraestructuras: mejoras en automatización

Monitorización continua de la red, para lo cual están operativas 114 estaciones de telemando y telecontrol y 156 *dataloggers*. En concreto se supervisan 150 niveles, 32 analizadores de cloro en continuo, 234 contadores y 185 presiones.

Gestión de infraestructuras. Doble Red Urbana para la Reutilización de aguas (DRUR)

En capítulos posteriores se explicará el desarrollo de la DRUR y cómo ha provocado en pocos años un cambio en el patrón de consumo en parques y jardines públicos y privados.

Reducción del subcuenta

Renovación y actualización del parque de contadores, determinada por criterios de edad media, volumen medido y retorno de la inversión. En el periodo 2012-2016 se han renovado una media de 25.382 contadores, alcanzando el máximo en el año 2015 con 27.077 medidores.

Mejora en la lectura de contadores

Implantación de la telelectura de red fija, vía radio de largo alcance, prevista para la totalidad del parque de contadores. En el año 2017 está implantada en el **60%** del parque de contadores.

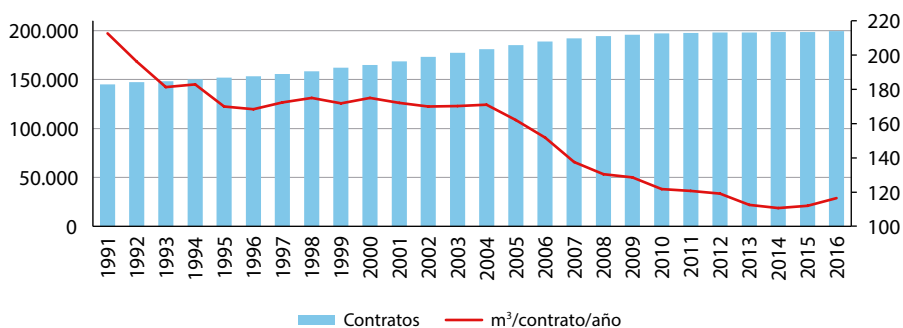
Gestión de clientes: lecturas e información comercial

Lectura sistemática de todos los clientes, implantación de telelectura como ya se ha expuesto, actualización constante de la información comercial, más de 185.291 consultas atendidas en la línea 900 de atención telefónica gratuita, etc.

Gestión de clientes: concienciación de uso eficiente

Entre 2007 y 2016 más de 30.500 alumnos se han concienciado mediante programas educativos dirigidos a colegios, institutos y universidades. Un indicador de dicha concienciación es la disminución de la dotación en litros al día por contrato (es decir, por punto de suministro) expuesta a continuación.

Figura 9. Evolución de la dotación de agua suministrada y número de contratos 1991-2016

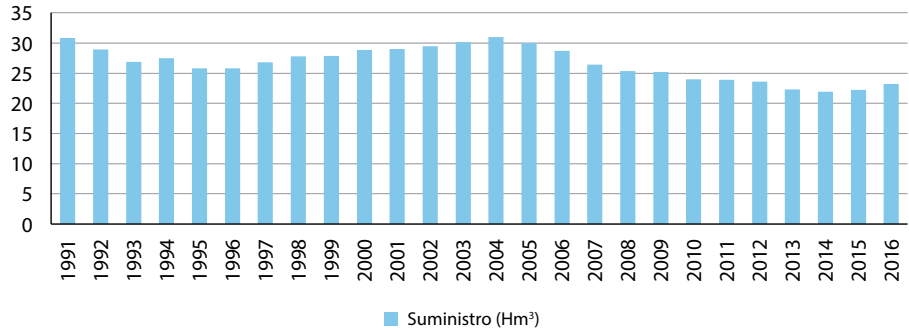


Rendimiento técnico hidráulico

Las actuaciones encaminadas a conseguir reducciones del Agua No Registrada (ANR), como las expuestas, son la base para alcanzar mejores valores en los dos principales indicadores de eficiencia (Álvarez *et al.*, 2014): rendimiento técnico hidráulico y nivel económico de pérdidas

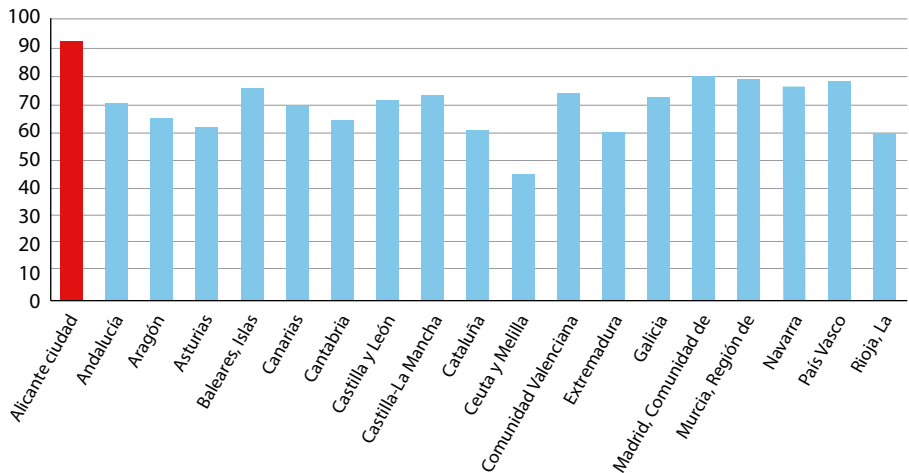
En concreto, en Alicante el valor del agua suministrada al sistema durante los últimos 25 años se ha mantenido relativamente estable.

Figura 10. Evolución del agua suministrada 1991-2016



Además de las causas que inciden directamente en la disminución de consumo per cápita, como los cambios en los hábitos de consumo y la eficiencia creciente de los electrodomésticos (Albiol y Angulo, *Aquae Papers* nº 6, “La reducción del consumo de agua en España: Causas y tendencias”), en el caso de Alicante han tenido especial relevancia mediante correctas políticas de gestión (renovación de contadores, telelectura, renovación de las redes de distribución, etc.) que han permitido mantener el rendimiento técnico hidráulico en torno al 90% en la ciudad de Alicante en el periodo 2010-2015.

Figura 11. Rendimiento técnico hidráulico en Alicante y por comunidades autónomas



Estos buenos resultados en el rendimiento técnico hidráulico se comprenden mejor cuando se comparan con el de otras zonas próximas geográficamente, pero condicionadas por estrategias de gestión diferentes (en la siguiente gráfica, según la edad media de la red y la edad media de los contadores). No debe sorprender a nadie comprobar cómo la inversión en la renovación de la red y la de los aparatos de medida tiene un efecto directo en la mejora del rendimiento.

Figura 12. Rendimiento técnico hidráulico por zonas geográficas y edad media de la red

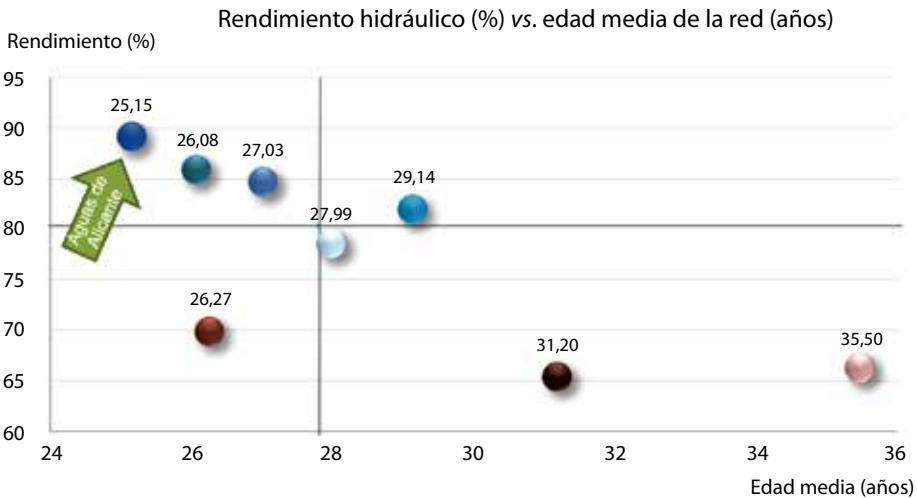


Figura 13. Rendimiento técnico hidráulico por zonas geográficas y edad media de los contadores



Nivel económico de pérdidas

No por obvio es menos importante recordar que las redes de distribución son infraestructuras ocultas, cuya condición es de muy difícil diagnóstico; y sin embargo, es preciso, en la medida de lo posible, anticiparnos a su fallo y no limitarnos a una estrategia reactiva cuando este ya se ha producido. Este objetivo solo se puede alcanzar mediante su renovación en el momento correcto. El elevado coste e impacto de las renovaciones de redes, así como la importancia clave de mantener estas infraestructuras en las mejores condiciones posibles para minimizar las fugas y roturas, hacen imprescindible el uso de aplicaciones de optimización que den soporte a la decisión en este ámbito. Con este fin, se desarrolló la herramienta METRAWA de priorización en renovación de redes.

Esta herramienta informática multicriterio (contempla tanto factores técnicos como económicos) determina los tramos de red a renovar en el corto, medio y largo plazo, según el nivel de inversiones disponible. De esa forma, la herramienta aplica criterios expertos de forma sistemática, evitando sesgos subjetivos, omisión de datos, etc. Esta solución, que se calibra periódicamente en función de los resultados reales, también proyecta simulaciones de la evolución del rendimiento en caso de distintas asignaciones económicas a la renovación.

En la actualidad se ha lanzado un plan quinquenal de renovación de la red de Alicante basado en METRAWA.

3.3. La reutilización de agua para usos urbanos en Alicante

Uno de los factores claves para entender el uso eficiente de los recursos en el caso de Alicante, y en general en el contexto mediterráneo, es la reutilización del agua depurada y regenerada. Por su importancia presente y su potencial futuro, merece un epígrafe aparte en este estudio.

Aunque la diversificación de fuentes ya mencionada ha permitido disponer de un suministro garantizado de agua, el uso de estos recursos de difícil obtención, que conllevan procesos de desalación, transporte desde grandes distancias y/o extracción a gran profundidad, para ciertos usos (riego urbano, baldeo de calles, etc.) no es deseable.

3.3.1. El desarrollo de la Doble Red Urbana para la Reutilización de aguas

En Alicante, el origen de la reutilización del agua puede trazarse hasta el año 1995, en el que el campo de golf de Bonalba solicita la concesión

de agua reutilizada para el riego de sus instalaciones. Esta reutilización se convierte en realidad al año siguiente, cuando la Empresa Mixta de Aguas Residuales de Alicante, S.A. (EMARASA) pone en funcionamiento la primera estación de tratamiento terciario de Alicante, con una capacidad de 2.500 m³ diarios.

Figura 14. Doble Red Urbana para la Reutilización de aguas (DRUR) en Alicante



A partir de aquí, la reutilización urbana avanza progresivamente, tanto en volumen como en infraestructuras, pero el hito fundamental llega en 2003, con la aprobación del *Plan Director de Reutilización de Aguas Residuales de Alicante*. Este documento marca la apuesta decidida de la ciudad por la reutilización como solución estructural para los usos no potables, a través de los siguientes puntos:

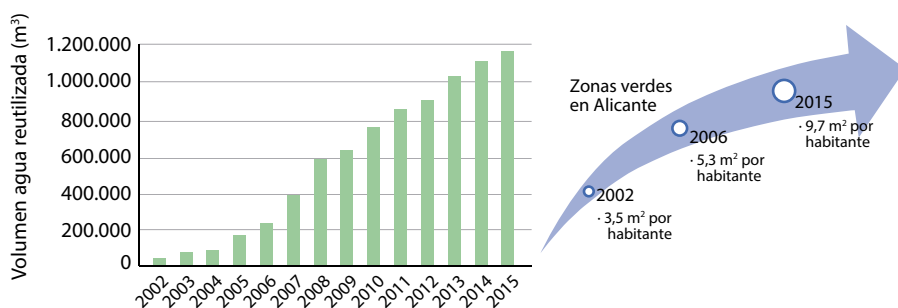
- Identificación de las áreas de riego urbano actuales y futuras.
- Cuantificación del volumen de agua necesario en etapas sucesivas.
- Definición de las infraestructuras de tratamiento, distribución y riego necesarias.
- Creación de un plan especial de inversiones a desarrollar.

Desde ese momento, el despliegue de las redes que, desde las cercanas depuradoras de Monte Orgegia y Rincón de León, suministran agua regenerada

a las grandes zonas verdes de Alicante ha permitido la sustitución paulatina de los caudales de agua potable, posibilitando además el crecimiento de la cobertura vegetal en la ciudad. Dos gráficas resultan sumamente ilustrativas a este respecto:

Figura 15. Evolución del uso urbano de agua regenerada y crecimiento de zonas verdes

Uso urbano de agua reutilizada en Alicante 2002-2015



En la primera, podemos ver la evolución del consumo de agua regenerada para usos urbanos en el periodo 2002-2015, mientras que la segunda nos muestra la evolución de la superficie de zonas verdes por habitante en este mismo periodo.

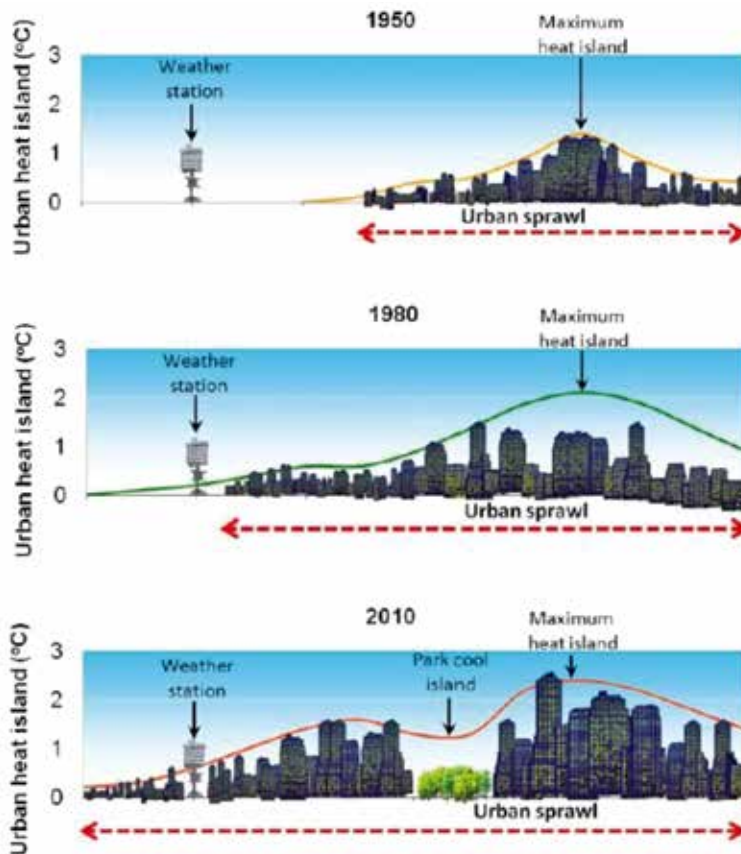
3.3.2. Impacto del agua regenerada en el ámbito urbano

La importancia de este último indicador viene soportada por los múltiples estudios que avalan la importancia de las zonas verdes para la salud física y mental de los ciudadanos. Baste destacar que la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo ha incluido explícitamente entre los Indicadores de Salud en Ciudades Sostenibles, con un valor objetivo de 10 m²/habitante. El informe de la OMS *Urban green spaces and health* (“Espacios verdes urbanos y salud”, 2016) hace revisión de todas las evidencias científicas que relacionan los efectos positivos de la presencia de parques y jardines con la mejora de la salud. Entre los beneficios encontrados, se encuentran aquellos que las zonas verdes ejercen sobre el sistema inmunitario, la obesidad, el sueño, las capacidades cognitivas, el sistema cardiovascular, la esperanza de vida o incluso los indicadores de criminalidad.

Es bien conocido el denominado “efecto de isla de calor” que eleva la temperatura de las ciudades debido a la mayor superficie de absorción que presentan las zonas edificadas. Este efecto tiene especial impacto sobre las

temperaturas mínimas (nocturnas) que se pueden llegar a elevar en más de 2 °C. La importancia de este efecto queda clara cuando recordamos que una de las consecuencias del cambio climático es, precisamente, la pérdida de confort climático del área mediterránea que se refleja, entre otras cosas, en la mayor incidencia de las conocidas como “noches tropicales”, con temperaturas mínimas superiores a 20 °C. Por tanto, las medidas que puedan disminuir este efecto de isla cobran especial importancia en el contexto del calentamiento atmosférico. Una de las formas más eficaces de lograr mitigarlo es, precisamente, mediante el crecimiento de las zonas verdes urbanas.

Imagen 2. Efecto urbano de isla de calor. Impacto de las zonas verdes en su mitigación



Fuente: R. Connolly y M. Connolly (2014), *Urbanization bias I. Is it a negligible problem for global temperature estimates?*

Es por ello que la evolución de Alicante, desde su carácter de ciudad sin espacios vegetales, asociada a la permanente falta de recursos hídricos, hasta su equilibrada situación actual, es especialmente relevante. No olvidemos que en este periodo la población urbana creció en 42.000 habitantes; es difícil imaginar cuál hubiera sido el panorama sin el concurso de la reutilización. Se puede afirmar, sin ninguna exageración, que el agua reutilizada añade una dimensión extra a la resiliencia urbana: la resiliencia psicológica que las zonas verdes proporcionan a los pobladores de la ciudad ante las presiones crecientes que pueden afectar negativamente a la salud, tales como polución, ruido, sedentarismo o temperaturas extremas.

3.3.3. Contexto económico de la reutilización

La implantación de las infraestructuras necesarias para distribuir el agua regenerada en un entorno urbano consolidado requiere de una inversión significativa: se trata de una infraestructura a desarrollar desde cero cuyo coste debe ser competitivo. Una aplicación reduccionista del principio de recuperación de costes establecido en la Directiva Marco del Agua (DMA) podría, por tanto, convertir en inviable su desarrollo, al cargar con costes inasumibles un recurso cuyo uso dejaría de ser rentable.

En este punto, es obligado abrir la perspectiva y recordar que el ciclo urbano del agua es un proceso continuo e integrado, del que la regeneración es un eslabón inseparable. Si cabe alguna duda al respecto, bastaría con hacer la pregunta inversa que P. Rougé y F. Hernández proponían en 2016: “¿Cuál es el coste de no regenerar?”. En un contexto de escasez de recursos hídricos, la respuesta es inmediata: la no reutilización supondrá una disminución de la disponibilidad de los recursos destinados al consumo potable (y agrícola) y en un coste creciente de estos. De otra forma, **la inversión en infraestructuras de agua regenerada está dedicada a asegurar la garantía de suministro del agua potable** y la contención de su coste. Como apunta Joaquín Melgarejo (*Depuración y reutilización de aguas en España*, 2016) para favorecer la reutilización: “Resulta imprescindible establecer una política de precios que reparta los costes de la regeneración y la gestión de las aguas residuales **entre la totalidad del consumo**, estableciendo incentivos para lograr que en todos los sectores se utilice agua regenerada cuando esto sea posible”.

El argumento queda reforzado cuando comparamos la inversión y los costes de operación requeridos por las infraestructuras de reutilización con los dedicados a tratamientos de depuración y potabilización. A este respecto, nos remitimos de nuevo al trabajo de P. Rougé y F. Hernández.

Tabla 5. Comparación de los costes de tratamiento en el ciclo urbano del agua

Tratamiento	Escala de producción		
	M (M < 1.000 m³/d)	L (1.000 m³/d < L < 100.000 m³/d)	XL (XL > 100.000 m³/d)
Potabilización			
CAPEX (€/m³.d⁻¹)	–	350	250
OPEX (€/Dam³)	–	70	60
Potabilización avanzada			
CAPEX (€/m³.d⁻¹)	–	600	300
OPEX (€/Dam³)	–	350	200
Depuración			
CAPEX (€/m³.d⁻¹)	2.500	1.000	500
OPEX (€/Dam³)	350	200	150
Reutilización (terciario con desinfección)			
CAPEX (€/m³.d⁻¹)	400	200	100
OPEX (€/Dam³)	40	30	25
Reutilización (desinfección y desalación)			
CAPEX (€/m³.d⁻¹)	1.000	600	300
OPEX (€/Dam³)	600	400	200
Desalación agua de mar			
CAPEX (€/m³.d⁻¹)	1.500	1.250	1.250
OPEX (€/Dam³)	600	550	500

Fuente: P. Rougé y F. Hernández, *El coste de no regenerar*, 2016.

Podemos resumir estas cifras afirmando que los costes de inversión y operación del tratamiento de reutilización suponen, respectivamente, menos de una décima parte del coste de los restantes procedimientos del ciclo (potabilización y depuración). Otros puntos de comparación estudiados por los mismos autores nos muestran cómo las inversiones en el tratamiento terciario para regeneración son, aproximadamente, una quinta parte de las requeridas para el almacenamiento o, más significativamente, para desplegar tan solo 10 km de la red de transporte de agua en alta.

A estas consideraciones podemos añadir, obviamente, las ambientales: el consumo energético y, por ende, la huella del carbono del proceso de reutilización

viene a ser, en el más desfavorable de los casos, inferior a una décima parte de la generada por la producción y potabilización del agua. El tratamiento terciario convencional de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) urbana, como el de la planta de Monte Orgegia en Alicante, tiene, de hecho, una huella de carbono prácticamente nula.

Por otra parte, de acuerdo con el reciente estudio *Reutilización de aguas regeneradas: aproximación a los costes de producción y valoración de su uso* (Villar-García, 2016), que estima que el valor económico del agua reutilizada producida en España está en torno a 2.165 millones de euros anuales, el retorno de inversión de este tipo de recurso es sobradamente positivo, en una relación de más de 1 a 3.

Además, como nos recuerda este mismo autor, existen otras valoraciones asociadas al proceso de reutilización añadidas al valor del recurso que podemos medir en términos económicos, como es el caso de la eliminación de vertidos de carga orgánica al medio natural. Al suponer un tratamiento mejorado respecto del requerido por la normativa para su vertido al medio natural (tratamiento secundario), se elimina cierta carga de contaminación que, de otro modo, acabaría en el medio receptor; en el caso de Alicante, el mar Mediterráneo. De acuerdo con la estimación de Villar-García, “en términos absolutos, el tratamiento terciario y su posterior reutilización elimina vertidos totales al medio natural que podemos cifrar en unas 1.450 toneladas de nitrógeno, 290 toneladas de fósforo y 4.500 toneladas de DBO5”.

Al margen de estas reflexiones, la inversión en reutilización, como en cualquier otra infraestructura, no puede perder de vista la otra parte de la ecuación: el aseguramiento de los usos y usuarios. Esta condición aparentemente obvia es clave a la hora de asegurar la viabilidad económica de las actuaciones y el cumplimiento de sus objetivos. Tras el impulso inicial que la concesión solicitada por el campo del golf de Bonalba supuso para Alicante, la estructura de financiación y tarifas que se describen en el siguiente apartado fueron fundamentales para la implantación de la doble red.

3.3.4. Factores de éxito

Como se ha explicado anteriormente, la adecuada planificación y la apuesta decidida por la reutilización fueron elementos claves del desarrollo de este recurso; sin embargo, hay otros aspectos sin los cuales esta experiencia no puede desarrollarse con éxito: una estructura adecuada de tarifas y financiación de infraestructuras, y un alto nivel de exigencia técnica.

De forma coherente con la visión integral del ciclo del agua descrita en el apartado anterior, la estructura de financiación adoptada en Alicante puede resumirse de forma relativamente simple: las inversiones en infraestructuras de reutilización son respaldadas de forma conjunta por las tarifas de agua potable y reutilizada, mientras que los costes de operación (tratamiento, energía, mantenimiento, etc.) son repercutidos únicamente en la tarifa de la segunda. El precio medio del agua reciclada resultante de este esquema⁷ es de 0,35 euros; aproximadamente la quinta parte del correspondiente al agua potable, de forma que se logra con éxito el objetivo de fomentar la adopción del recurso alternativo.

Imagen 3. Parque del Palmeral, Alicante



Por otra parte, no podemos dejar de mencionar la importancia de un adecuado desarrollo técnico y tecnológico en la implantación de la reutilización; la eventual consideración de usos secundarios del riego o la limpieza de calles podría hacernos caer equivocadamente en un insuficiente nivel de exigencia. En este sentido, es preciso recordar que la legislación española (RD 1620/2007) establece unos requisitos que, en ocasiones (véase el caso de

⁷ En enero 2018.

la turbidez), llegan a ser más elevados que aquellos definidos para el agua potable; sin embargo, es responsabilidad del gestor establecer los controles y estrategias que permitan asegurar dichos niveles. Así, en el caso de Alicante, el desarrollo y aplicación de soluciones tecnológicas ha sido constante; desde sistemas de protección en las acometidas para evitar la posibilidad de comunicación entre las conducciones de agua potable y las de agua regenerada o la definición de normas específicas de instalación, hasta la oxigenación de los almacenamientos y el telecontrol de las redes.

Finalmente, la descripción de la experiencia de Alicante no sería completa si no se hiciera mención destacada del apoyo público e institucional a todas las iniciativas relacionadas con la reutilización en la ciudad. En este sentido, cabe subrayar la unanimidad de todos los representantes públicos en el respaldo a todas las decisiones que han permitido la implantación del agua regenerada para usos urbanos, de forma que nunca ha sido objeto de controversia política. Igualmente fundamental ha sido la positiva aceptación de todos los alicantinos, hasta el punto de que hoy en día no se comprendería por parte de la ciudadanía el uso de agua potable para el riego de los parques y jardines de Alicante.

4. EL DRENAJE URBANO

La calidad del medio en la ciudad, el carácter más o menos acorde de su trama con el soporte físico donde se asienta, debe considerar, entre otros factores, el riesgo frente a episodios naturales de rango extraordinario y su posible prevención. Las medidas estructurales han sido la solución más desarrollada en las ciudades para mejorar las condiciones del drenaje urbano y evitar así que las aguas pluviales pudieran causar daños en las tramas urbanas. En España y, especialmente, en las áreas del litoral mediterráneo, esto ha sido manifiesto a partir de la segunda mitad del siglo XIX, cuando la expansión moderna de las ciudades obligó a idear e incorporar actuaciones desde la ingeniería para reducir la circulación de la escorrentía pluvial por las calles y sus efectos no deseados. Por su parte, los procesos de planificación territorial en nuestro país no han tenido en cuenta el aspecto del riesgo natural hasta fecha reciente. A nivel estatal, solo a partir del año 2008, con la aprobación de la ley del suelo (rev. en 2015) ha sido obligatorio elaborar mapas de riesgo natural para su consideración en la planificación urbana y territorial. Si bien es cierto que algunas comunidades autónomas habían elaborado normativas y planes, algunos años antes, para reducir el riesgo de inundaciones mediante la ordenación territorial; en el litoral mediterráneo español, es el caso de la Comunidad Valenciana, Cataluña, Andalucía y Baleares.

Hay que destacar el hecho de que, en la ciudad, la reducción del riesgo de extremos pluviométricos debe combinar, de modo inteligente, actuaciones de tipo estructural con medidas de ordenación territorial. Las primeras solucionan los problemas presentes de drenaje que ya existen en las ciudades y que se manifiestan cuando acontece un episodio de lluvias extraordinarias. Las segundas preparan el territorio para el futuro, evitando, mediante el respeto a las áreas que presentan alto riesgo, consecuencias no deseadas en caso de lluvia torrencial. Y a ello se suma la necesaria información y buena educación para el riesgo de los ciudadanos en estos entornos urbanos de riesgo.

La ciudad de Alicante presenta un elevado riesgo frente a las inundaciones causadas por lluvias de elevada intensidad horaria. Es este uno de los rasgos geográficos significativos que han caracterizado históricamente su evolución urbana, y lo sigue haciendo en la actualidad. Algunos de sus barrios han padecido serios problemas a consecuencia de avenidas impetuosas de barrancos urbanos, que se han saldado con importantes daños económicos y con la pérdida de vidas humanas. Sin olvidar sucesos históricos que merecen tratamiento destacado en las crónicas de la ciudad (Nicasio Camilo Jover, 1863; Viravens, 1876), la relación —amplia— de episodios acaecidos a lo largo del siglo XX demuestran la elevada vulnerabilidad de la trama urbana frente a las crecidas de una serie de cauces (barrancos, ramblizos) que han ido incorporándose al callejero. La ampliación de la zona urbanizada no ha respetado, en ocasiones, el trazado de ramblizos que descienden desde los cerros que salpican su territorio (Tossal, Benacantil, Garbinet, Orgegía, San Julian, Fontcalent) o barrancos que desaguan en el litoral alicantino procedentes de los relieves prebéticos que orlan el Campo de Alicante (barrancos de Juncaret, Ovejas, Agua Amarga). Los sectores urbanos de San Gabriel, Sangueta, área central en torno a la Rambla de Méndez Núñez, Óscar Esplá, San Agustín y en la desembocadura del barranco de Maldo en La Albufereta, han sido los espacios regularmente afectados en los últimos cien años por las inundaciones. A ellos se suma el área central de la playa de San Juan, que ha crecido a partir de un antiguo espacio marjalenco que queda anegado, recuperando su antigua función natural, cuando descargan precipitaciones intensas.

4.1. Antecedentes históricos. Evolución urbana de Alicante: un proceso de “digestión” progresiva de barrancos en su trama urbana

La evolución urbana de la ciudad de Alicante puede entenderse como la adaptación de su caserío, a lo largo de la historia, al trazado de los cursos fluviales que tapizan el campo de Alicante. Cinco barrancos principales

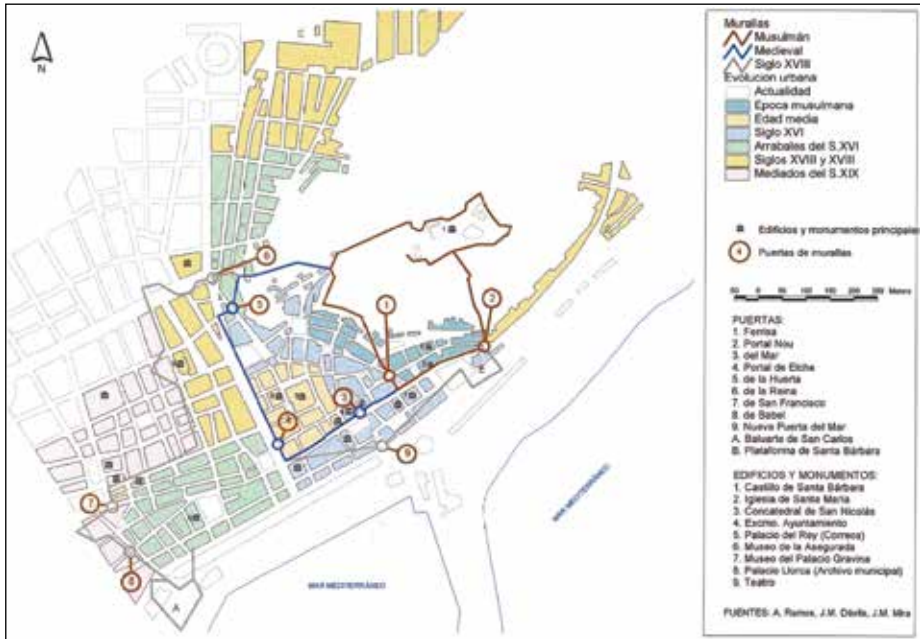
(Canicia, Bonhivern, San Agustín-San Blas, Ovejas y Agua Amarga) han sido, sucesivamente, “digeridos” por la trama urbana, incrementándose el riesgo de inundación en las áreas situadas en su curso. A ellos se unen los barrancos de Orgegia y Juncaret en el sector septentrional del término municipal y el área de avenamiento precario (endorreísmo) de la playa de San Juan. La vulnerabilidad de la población alicantina frente al fenómeno natural de las inundaciones ha aumentado en correspondencia a la ocupación del territorio.

La ciudad de Alicante en su emplazamiento actual en las faldas del monte Benacantil ha tenido, desde su fundación árabe, un elemento de referencia urbana importante en el trazado del barranco de Canicia que supuso una barrera natural para el crecimiento. Este curso, con origen en las proximidades de las lomas de Virgen del Remedio, descendía hacia el piedemonte meridional del cerro del Benacantil para desembocar en la fachada litoral. A partir del siglo XVI se produce la primera “digestión” de un barranco en la trama urbana alicantina. En efecto, en dicha centuria se produce la formación de dos arrabales extramuros: el de San Antón y el de San Francisco. El desarrollo de este espacio urbano suponía la incorporación definitiva del barranco de Canicia al callejero alicantino, aunque no será hasta el siglo XIX cuando su condición original de vaguada se transforme en calle propiamente dicha.

En el siglo XVIII tiene lugar el desarrollo de un nuevo arrabal, el Arrabal Roig, que supone el inicio de la integración progresiva a la trama urbana alicantina de un nuevo cauce, el barranco del Bon Hivern o de La Goteta que, con origen en las proximidades de las lomas del Garbinet, circula por la vertiente septentrional de la Serra Grossa —en su tramo meridional— y desembocaba originariamente junto a la playa del Postiguet.

Dos hechos importantes marcan el crecimiento del caserío alicantino en la segunda mitad del siglo XIX, en lo que respecta a la incorporación de barrancos a su trama urbana: la aprobación del proyecto de ensanche y la construcción del barrio higienista de Benalúa. El primero suponía la consolidación del callejero que, por lo demás, se realizaría a lo largo del siglo XX. Con ello quedaba perfectamente asumida la incorporación del barranco de Canicia y de la serie de ramblizos que descienden, en sentido norte-sur, desde el cerro de El Tossal de San Fernando y que atraviesan una serie de calles del propio ensanche; así como los que en sentido este-oeste alimentan el barranco de Canicia por su margen derecha. La construcción del barrio de Benalúa en la segunda mitad del siglo XIX, representaba la incorporación a la trama urbana de la ciudad de un nuevo barranco, el de San Agustín-San Blas.

Figura 16. Mapa de la evolución urbana de la ciudad de Alicante, hasta el siglo XVIII



El siglo XX y, en particular, su segunda mitad, es el siglo de la explosión urbana que se manifiesta con la incorporación definitiva a su callejero de los cuatro barrancos principales que lo atraviesan (Canicia, Bonhivern, San Blas-San Agustín y Ovejas). Es, entonces, cuando la expansión urbana de Alicante, a partir de espacios de riesgo de inundación, termina por configurar una ciudad con alto riesgo ante este episodio natural.

La segunda mitad del siglo XX conoce la ocupación de los márgenes del barranco de las Ovejas en su tramo medio (polígono industrial del Llano del Espartal) y bajo (barrio de San Gabriel); la incorporación total del barranco de San Agustín-San Blas, con la construcción del polígono de San Blas, por cuyo eje central (avenida del Doctor Rico) circula dicho barranco; la consolidación del sector occidental del ensanche en torno a la avenida de Óscar Esplá, junto al cauce del barranco de Benalúa. Asimismo, se producen nuevas “digestiones” de barrancos o áreas de avenamiento precario en la trama urbana. Así en el límite meridional del término municipal se incorpora el barranco de Agua Amarga debido a la construcción del polígono industrial de Las Atalayas y del paso de la carretera nacional sobre el cauce mediante un puente de calado insuficiente. Los barrancos de Juncaret, a su paso por el

caserío de la Santa Faz, Orgegia y su confluencia en el de Maldo (conjuntos residenciales en la desembocadura del barranco en La Albufereta), se convierten asimismo en espacios de riesgo. La urbanización de la playa de San Juan se realiza sobre un sector marjalenco tras el cordón dunar de la playa; no debe sorprender que se convierta en un área de encharcamiento cuando precipitan fuertes lluvias. En el tramo medio del barranco de Orgegia el crecimiento del caserío de El Palamó se realiza hacia el este, esto es, hacia la margen derecha del propio barranco.

A la propia expansión del área urbanizada se han unido otros factores que contribuyen a agravar el riesgo de inundación: la falta de planificación, hasta 1997, de colectores de aguas pluviales de capacidad suficiente para asumir grandes trombas, el diseño de calzadas por donde circulan aguas de avenida de forma convexa en lugar de cóncava, la falta de limpieza de imbornales y trapas de evacuación de aguas del alcantarillado, el asfaltado de calles, la construcción de vías urbanas en sentido transversal al trazado de barrancos y con aliviaderos insuficientes para la evacuación de aguas de avenida (Gran Vía); son aspectos que han ido aumentando la vulnerabilidad de la población urbana de Alicante ante los episodios de lluvia intensa.

La configuración de la ciudad de Alicante se presenta, por tanto, como ejemplo de espacio urbano que ha ido incrementando su vulnerabilidad ante el riesgo de inundaciones a medida que se ha ido consolidando el caserío. Y todo ello en una concepción de ciudad donde impera la práctica urbanizadora y la ocupación del suelo frente a la planificación cuidadosa de usos y espacios, y el respeto a los elementos del medio físico que condicionan el devenir de un territorio. Esta ha sido una práctica común a muchas ciudades del litoral mediterráneo español a lo largo de la segunda mitad del siglo XX. La necesidad de suelo, la demanda de vivienda, ha obligado a clasificar áreas de suelo urbano con una celeridad incompatible con la ocupación racional del territorio. Ello genera áreas de riesgo en el medio urbano, convirtiendo en vulnerables las sociedades que allí se acomodan.

4.2. Orígenes y desarrollo de la red de drenaje en Alicante

Como ya se ha explicado con anterioridad, la ciudad de Alicante ha crecido desde las laderas del monte Benacantil hacia cotas inferiores, incorporando en cada ampliación los diferentes barrancos que ejercían como fronteras naturales a su desarrollo: Mina, Carmen-San Rafael, Canicia, San Agustín-San Blas, Ovejas, Agua Amarga, Orgegia, Juncaret, etc. (Marquiegui, 2012 y Olcina, 2004). Sin embargo, la incorporación de las sucesivas ramblas al recinto urbano no se acompaña de las obras necesarias para

resolver los episodios de lluvia y, por tanto, primero los “cronicones” (Bendicho, 1640; Maltés y López, circa 1752; Jover, 1862; y Viravens, 1876), y más tarde la prensa (Olcina *et al.*, 2003), hablan de periódicas inundaciones que ocasionan recurrentes perjuicios.

Como ejemplo de esto resulta ilustrativo revisar los dos artículos de Echarri, 2011 y 2013. En ellos se expone cómo primero en el año 1752 y después en 1772 las avenidas del barranco de San Agustín-San Blas desmontan los paramentos del baluarte de San Carlos, que se ubicaba en la confluencia de la actual calle Ramón y Cajal con la de Canalejas. Se desvía el barranco de San Agustín-San Blas abriendo un nuevo cauce a las aguas pluviales que se corresponde con la actual avenida de Óscar Esplá (cauce que absorberá la ciudad a finales de 1970 con una conducción de 2.000 mm que se mostró insuficiente en las riadas de 1982 y 1997).

4.2.1. Primeras actuaciones históricas sobre el drenaje

Como antecedentes históricos destacados de obras de drenaje urbano en la ciudad de Alicante, hay que referirse a la actuación de derivación de aguas del barranco de Canicia llevadas a cabo a finales del siglo XVIII, tras el episodio de lluvia torrencial del 7 de noviembre de 1791. Los efectos causados en la actual plaza de Chapí e inmediato convento de las monjas capuchinas, así como en los almacenes de comercio situados en la calle del Barranquet, impulsaron la construcción de un foso de derivación de aguas. El coste total de la obra fue de 58.056 reales de vellón (Ramós Hidalgo, 1984). La propia construcción de la nueva muralla de la ciudad en el siglo XVIII contempló la excavación de un foso que sería utilizado con el paso de los años como sistema de evacuación de aguas sucias.

Con respecto a la red de saneamiento, se conoce que existían al menos dos conductos que vertían al mar, al oeste del primitivo muelle, y otros dos, al este de dicho muelle, gracias a los dos planos de Manuel Miralles (*sic.* Manuel Mirallas), titulados *Plano de Alicante e inmediaciones* y *Plano geométrico iconográfico del muelle de la ciudad de Alicante*, este último reflejando un proyecto que no se ejecutará y ambos fechados cerca de 1794 (Aguilar, 2012).

Otra aproximación al desarrollo de la red de saneamiento consiste en la revisión de ingresos y gastos de 1797 reflejada por Jover, donde no consta partida para el alcantarillado, aunque se observa una mínima dotación en obras y conservación. También refleja el propio Jover el presupuesto para el colector de La Mina en 1787, así como los presupuestos para el alcantarillado de

las calles Mayor, San Francisco, Blasco (actual Pascual Blasco), Castaños, Bailén y San Fernando en los años 1859-1863. Referente a estas obras de mediados del XIX, Jover afirma: “[...] se pensó en perfeccionar el sistema de cloacas, alcantarillas y demás obras subterráneas, tramo que también se había mirado con reprensible abandono”.

4.2.2. *El crecimiento del puerto de Alicante y su impacto sobre el drenaje urbano*

El consulado del mar en 1785, la constitución como capital de la provincia en 1822, así como la conexión ferroviaria con Madrid en 1858 supusieron un claro auge comercial que conllevó la esperada ampliación del puerto con la ejecución del nuevo muelle de Poniente, cerrando con ello la dársena de Alicante. Sin embargo, la construcción del mencionado muelle, finalizada en 1873, supuso durante 40 años el mayor problema sanitario de la ciudad, en línea con el menguado abastecimiento de agua potable y con el hacinamiento de la clase obrera en viviendas insalubres (Salort, 2005).

Dicho “inmenso pozo negro”, como se afirma en el proyecto que se cita a continuación, finalizará tras la ejecución del *Proyecto de obras para el saneamiento del puerto de Alicante y de su zona marítima* redactado en 1905 por el ingeniero del puerto Ramón Montagut, cuyo fin de obra fue recibido por el Ayuntamiento de Alicante el 31 de agosto de 1914 (Salort, 2005).

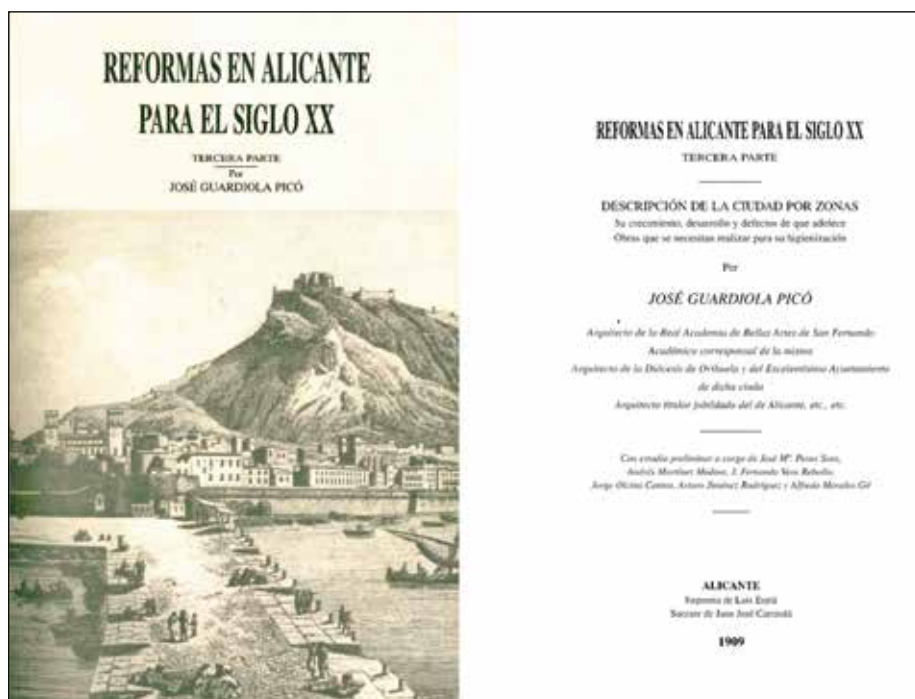
4.2.3. *El plan del arquitecto José Guardiola*

En el tránsito entre los siglos XIX y XX, en pleno higienismo, el arquitecto Guardiola Picó plantea en su obra *Reformas en Alicante para el siglo XX* una serie de ideas para llevar a cabo en la ciudad con objeto de evitar uno de sus problemas: la ausencia de redes de avenamiento. El propio Guardiola señala que “la primera causa de nuestro mal estriba en la falta de condiciones en los cauces” y defendía la necesidad de dotar a la ciudad de una red de alcantarillado que evitara la proliferación de pozos negros y actuase, al tiempo, de red de avenamiento para evitar las inundaciones en las zonas bajas de la ciudad. La causa de este problema era, según Guardiola, evidente: Alicante, por su ubicación próxima al mar y las pendientes topográficas vinculadas a la serie de cerros que enclaustran su trama urbana (San Julián, Benacantil y Tossal), tiene las mejores condiciones para favorecer el avenamiento de las aguas.

Guardiola hace un certero diagnóstico del problema de las inundaciones en las zonas bajas de la ciudad y resalta la idea de mejorar la serie de colectores

urbanos para que evacuen de forma rápida las aguas pluviales y eviten así los efectos que, como señala el autor, padeció la ciudad en la última decena del pasado siglo: “la enorme inundación que alcanzó al convento de las Capuchinas, a pesar de su situación elevada y que tanto daño causó a la zona baja”.

Imagen 4. Reformas en Alicante para el siglo XX. José Guardiola Picó



Fuente: edición preparada por COEPA (1999).

Para mejorar las condiciones de avenamiento de aguas pluviales, Guardiola propone usar el sistema de fosos de circunvalación señalado, es decir, la red de alcantarillado pero con una mayor capacidad de evacuación, idea que, en buena medida, avanza la solución que se llevó a cabo en la ciudad dentro del Plan contra Inundaciones de Alicante, un siglo más tarde.

Desde entonces las obras de mejora de la red de alcantarillado han sido constantes, si bien no se han acompañado, como es necesario en los núcleos urbanos del litoral mediterráneo español, de una red de aguas pluviales paralela que permita la salida rápida de caudales en caso de lluvias intensas. Las riadas de octubre de 1966, octubre de 1982 y septiembre de 1997 dieron buena prueba de la carencia entonces de una red de pluviales en la ciudad de Alicante.

4.3. Historia reciente y episodios singulares

La riada de octubre 1982 en la ciudad de Alicante, inserta en el mismo episodio meteorológico que origina la Pantanada de Tous y las gravísimas inundaciones en la ribera del Júcar, supone un cambio en la consideración ciudadana de este tipo de eventos de peligrosidad climática e hidrológica. Los graves efectos que esta tromba de agua (233 mm/24 h, el segundo dato más elevado de precipitación diaria en la ciudad) en la ciudad de Alicante generó, por vez primera en la historia de la ciudad, un movimiento de conciencia y protesta hacia las autoridades responsables del gobierno municipal, exigiendo medidas para que este tipo de episodios no volviera a producir las catastróficas consecuencias que generó. Recordemos que en este episodio se vio muy afectado el centro de la ciudad, debido a la crecida del barranco de Canicia y de los colectores de avenamiento que descienden desde los montes Tossal y Benacantil; así como el barrio de San Gabriel, por la crecida extraordinaria que experimentó el barranco de las Ovejas.

Tras este gran episodio de inundación en la ciudad, los ocurridos tras las lluvias de noviembre de 1984, 1985, septiembre de 1986 y noviembre de 1987 no resultaron tan dañinos y se saldaron con anegamientos parciales en diferentes sectores urbanos. En estos casos, el foco de intensidad de lluvia no se localizó sobre el término municipal de Alicante, lo que explica que las consecuencias de estos episodios de lluvia intensa no alcanzaran, de modo alguno, el nivel de daños registrado en 1982.

Imagen 5. Efectos de la crecida del barranco urbano de San Agustín-San Blas en el barrio de San Blas (Alicante), durante la riada del 20 de octubre de 1982



Algo más dañino fue el evento ocurrido a comienzos de septiembre de 1989. En este caso, la intensidad de las lluvias y la localización de un foco pluviométrico sobre la ciudad y término municipal de Alicante volvieron a ocasionar daños en los sectores urbanos de Vistahermosa, La Albufereta y Santa Faz, debido a la crecida de los barrancos de Orgegia y del Juncaret. Asimismo, se produjo la salida del barranco de Bon Hivern con efectos en el sector de la estación de tren de Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV) tren de la Marina, entrada de Alicante por el área del Postiguet y avenida de Elche, en la salida sur de la ciudad.

Tabla 6. Episodios de lluvias intensas con efectos de inundación en la ciudad y término municipal de Alicante en los siglos XX y XXI

Fecha	Precipitación (e intensidad horaria) en mm
23 de septiembre de 1906	50 mm
28 de noviembre de 1916	71 mm
20 de agosto de 1929	25,6 mm (105,6 mm/h)
18-19 de septiembre de 1929	51,5 mm (294 mm/h)
25 de septiembre de 1931	34,5 mm
1 de noviembre de 1934	60 mm
8 de agosto de 1945	60 mm
2 de noviembre de 1949	49,5 mm (190 mm/h)
20 de septiembre de 1957	54,4 mm (120 mm/h)
2 de septiembre de 1959	46,5 mm
28-29 de septiembre de 1959	56,4 y 61,5 mm, respectivamente
15 de octubre de 1962	133,8 mm (305 mm/h)
15 de septiembre de 1963	40,9 mm (150 mm/h)
8 de octubre de 1966	88,5 mm
4 de octubre de 1969	65,1 mm
19 de octubre de 1972	52,7 mm (210 mm/h)
9 de noviembre de 1978	73,3 mm (208 mm/h)
20 de octubre de 1982	233,1 mm (180 mm/h)
4 de noviembre de 1987	92 mm
5 de septiembre de 1989	133,6 mm
30 de septiembre de 1997	270,3 mm (154,2 mm)
3 de mayo de 1999	35 mm
23 de octubre de 2000	55,4 mm
21 de septiembre 2007	90,4 mm
11 y 12 de octubre 2007	49,7 mm y 42,1 mm
28 de septiembre 2009	131 mm
18 de noviembre de 2012	55,2 mm
13 de marzo de 2017	137,4 mm (48,8 mm)

Fuente: AEMET.

Pero no sería hasta el 30 de septiembre de 1997 cuando la ciudad volverá a padecer las consecuencias de un episodio de torrencialidad pluvial, con daños generalizados en toda su trama urbana. En esta ocasión, la ciudad registró el valor más elevado de precipitación en 24 h (270 mm), dato que establece el récord de lluvia acumulada en una jornada en Alicante. Cuando aconteció este episodio de lluvia torrencial, se estaba construyendo el aparcamiento de la avenida de Alfonso X el Sabio en uno de los ejes del ensanche de la ciudad. Este hecho resultó esencial para evitar daños económicos mayores en el sector urbano comprendido entre la rambla de Méndez Núñez y la calle Ángel Lozano, hacia la parte baja de la ciudad (explanada de España), puesto que la excavación practicada para desarrollar las dos plantas de sótano de dicho *parking* actuó como enorme depósito de captación de agua pluvial, evitando que el agua circulase por las calles buscando su salida al mar. No obstante, las pérdidas económicas causadas por anegamiento de sótanos, garajes y locales comerciales fueron muy elevadas. Los accesos a la ciudad por el norte y sur quedaron bloqueados por la crecida de los barrancos de Bonhivern-La Goteta y de las Ovejas, respectivamente. Y un sector urbano muy afectado por la tromba de agua registrada fue la playa de San Juan, en especial el espacio comprendido entre la avenida Costablanca y la de Niza, en el paseo marítimo de la playa. Este espacio urbano, edificado sobre una antigua área marjalenca que ocupaba el traspais del cordón dunar de dicho espacio litoral, registra un avenamiento muy precario debido a la escasa pendiente existente para favorecer el drenaje de las aguas pluviales. De manera que todo este conjunto de calles y urbanizaciones quedó varias jornadas bajo el agua, hasta que pudieron practicarse medidas de emergencia extraordinarias para evacuar las aguas retenidas. Asimismo, fueron importantes los daños en la Albufereta debido a la crecida del barranco de Maldo.

Imagen 6. Efectos del desbordamiento del barranco urbano de San Agustín-San Blas en su tramo final en la avenida de Óscar Esplá, estación de ferrocarril de Benalúa y CN-340, durante la riada de 30 de septiembre de 1997



A pesar de la frecuencia de eventos de anegamiento e inundación en la ciudad de Alicante en los años ochenta y, años después, el ocurrido el 30 de septiembre de 1997, las actuaciones de drenaje urbano desarrolladas en ese intervalo no fueron muy significativas. En efecto, desde la publicación de las referidas obras de Guardiola Picó hasta la puesta en marcha del Plan Antiinundaciones de Alicante, la ciudad solo ha merecido actuaciones parciales para solucionar el problema de las inundaciones. Se trata de obras de actuación en barrancos previstas, en su mayor parte, en el Plan General de Ordenación Urbana de 1986 o puestas en marcha, por vía de urgencia, por la Consellería de Obras Públicas —como la canalización del tramo final del barranco de las Ovejas—, tras el episodio de noviembre de 1987. Sin ejecución quedaron otras medidas incluidas, como la actuación del Plan de Desarrollo Regional de España 1994-1999 para la Comunidad Valenciana (canalización de los barrancos de Juncairet y Orgegía y del barranco de Agua Amarga en el Pla de la Vallonga).

La riada del 30 de septiembre de 1997 marcó un punto de inflexión fundamental en la preocupación municipal por el problema de inundaciones en la ciudad. La pérdida de tres vidas a consecuencia de los raudales de agua que circularon por la trama urbana motivó la puesta en marcha, por vía de urgencia, del Plan Integral Contra Inundaciones (PICI) de Alicante (Plan Antiinundaciones de Alicante), diseñado por los técnicos de la Consellería de Obras Públicas y del propio Ayuntamiento. Dicho plan recogía, en buena medida, la filosofía, señalada por Guardiola, de construcción de una serie de “fosos de circunvalación que recojan las aguas y las transporten al mar” para evitar que estas inunden el callejero. Al respecto, hay frases del escrito de Guardiola Picó que en este aspecto resultan premonitorias de alguna de las actuaciones contempladas en este Plan Antirriadas. Así, cuando se refiere al problema de avenamiento del barranco de Canicia en la rambla de Méndez Núñez indica la necesidad de construir “un colector de grandes y proporcionadas dimensiones, al que afluirían las aguas pluviales y sobrantes de otra especie en condiciones excelentes y en gran cantidad, porque abarcaría una gran zona exterior de la población y toda la comprendida por su lado derecho (del este)”, que, como se ha señalado, es una de las obras contempladas en el citado plan.

4.4. El cambio de paradigma: de la visión higienista a la protección frente a las inundaciones y la apuesta por la sostenibilidad ambiental

Las inundaciones originadas por la gota fría de 30 de septiembre de 1997 suponen un cambio radical en la actuación política para la defensa de la ciudad frente a este tipo de episodios catastróficos. En efecto, la ciudad toma conciencia de la necesidad de pasar del paradigma higienista, esto es, de la construcción de colectores de evacuación de aguas residuales, al paradigma

de la resiliencia ante este tipo de episodios de lluvia torrencial, lo que ha supuesto el diseño de una extensa red de colectores de gran capacidad para soportar, del mejor modo posible, estas puntas de escorrentía urbana. Un último paso en la historia del drenaje urbano de la ciudad de Alicante ha sido la apuesta por la sostenibilidad en materia hidráulica, con el desarrollo de obras “blandas” de captación de agua pluvial que consideran además la utilización posterior de dichas aguas para posibles usos urbanos tras su depuración. Se puede afirmar que, en dos décadas, la ciudad de Alicante se ha situado a la vanguardia del país en materia de drenaje urbano. Y en ello han tenido un papel destacado las Administraciones públicas (regional y local) y la empresa concesionaria de la gestión del ciclo integral del agua de la ciudad (AMAEM), en un ejemplo de lo que debe ser una colaboración eficaz y que tiene como objeto la mejora de las condiciones de vida de los ciudadanos en su medio urbano.

4.4.1. El Plan Antirriadas de la ciudad de Alicante

Tras el episodio de inundaciones del 30 de septiembre de 1997, la Generalitat Valenciana, a través de la Consellería de Obras Públicas, puso en marcha el Plan contra Inundaciones de Alicante, un programa de construcción de infraestructuras hidráulicas en la ciudad y término municipal de Alicante con la finalidad de evitar los efectos de las precipitaciones extraordinarias y crecidas de barrancos en las áreas urbanas. El Plan contra Inundaciones de Alicante incluyó las siguientes actuaciones en el conjunto de la trama urbana de la ciudad, con un presupuesto global de 103 millones de euros. En el desarrollo de alguna de estas obras colaboró, asimismo, la Confederación Hidrográfica del Júcar, en concreto en los encauzamientos de los barrancos periféricos, en el término municipal, de Juncaret-Orgegia y de las Ovejas.

Entre las actuaciones de mayor calado, podemos destacar el encauzamiento de varios barrancos adyacentes a la ciudad de Alicante, cuando no directamente inmersos en ella (Juncaret, Orgegia, de las Ovejas, Bon Hivern-La Goteta, de Canicia y de San Blas). Con carácter general, estas intervenciones se diseñaron para soportar lluvias torrenciales con un periodo de retorno de 200 años.

De forma complementaria, pero no menos importante, el Plan Antirriadas dotó a la ciudad de nuevos colectores de grandes dimensiones (colector Vía Parque, desdoblamiento del Plá y del Colector General, playa de San Juan), así como de otras actuaciones adicionales (aliviadero de Canalejas, avenamiento de la entrada sur de Alicante). Estas obras en el sector propiamente urbano están diseñadas para aminorar el riesgo de inundaciones con periodos de retorno de 50 años. En su conjunto, el Plan Antirriadas viene a crear, por una parte, las barreras necesarias para desviar y conducir las aguas procedentes del entorno periurbano

de forma que no lleguen a afectar a la ciudad, y, por otro, provee a Alicante de los grandes colectores capaces de evacuar las lluvias caídas en el casco urbano.

Figura 17. Plano de las actuaciones del Plan Antirriadas



Todas estas actuaciones se desarrollaron en dos etapas. En la primera, desde 1997 hasta 2001, las obras se centraron en consolidar los principales puntos de drenaje de la ciudad y en levantar algunas de las principales avenidas para restituir y dotar de mayor capacidad a los colectores ya obsoletos. En una segunda fase, de 2001 a 2005, se realizaron obras fundamentales para conformar parte del anillo de cierre y el encauzamiento de los barrancos.

4.4.2. Actuaciones complementarias del Plan contra Inundaciones de Alicante

Estas obras del Plan contra Inundaciones de la ciudad y término de Alicante se han visto completadas por un conjunto de actuaciones complementarias desarrolladas por el Ayuntamiento de Alicante y Aguas de Alicante Empresa Mixta, que incluyen:

- Obras de renovación de la red de alcantarillado financiadas por el Ayuntamiento de Alicante y Fondos FEDER entre los años 1999 y 2000.
- Obras de inversión de Aguas Municipalizadas de Alicante E.M. realizadas dentro del marco del Plan Especial de Inversiones 2006-2016.
- Obras de inversión ordinaria anuales de Aguas Municipalizadas de Alicante E.M.

- Obras de Renovación de redes de alcantarillado de Alicante anuales, realizadas por Aguas Municipalizadas de Alicante.

Como complemento al Plan Antirriadas desarrollado por la Generalitat Valenciana, el Ayuntamiento de Alicante proyectó y promovió la ejecución, entre los años 1999 y 2001, de una serie de actuaciones y obras destinadas a mejorar el sistema de evacuación de aguas pluviales y a articular la conexión de una serie de redes secundarias de alcantarillado con los grandes colectores pluviales. Estas obras permitieron solucionar diversos problemas de inundaciones locales, aumentado la capacidad de los colectores y dotando a estas zonas con suficientes rejillas de captación.

Dichas obras, cofinanciadas con fondos FEDER y ejecutadas entre los años 1999 y 2001, supusieron una inversión de algo más de 2.144 millones de las antiguas pesetas (aprox. 12,88 millones de euros).

Figura 18. Plano de las actuaciones realizadas en la zona del casco urbano. Obras complementarias



En total se instalaron/renovaron más de 13,6 km de colectores por gravedad, con diámetros comprendidos entre 400 y 2.500 mm, incluyendo algún tramo de sección rectangular. El material de las conducciones fue gres, para los colectores hasta diámetro de 600 mm, y hormigón armado, para el resto de diámetros/dimensiones.

Por otra parte, dentro del Plan Especial de Inversiones de Aguas Municipalizadas de Alicante se han realizado numerosas obras de mejora hidráulica con el apoyo del Plan Director de Alcantarillado de Alicante, recogiendo las necesidades más importantes de mejora del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Alicante.

Imagen 7. Sustitución colector general Tramo I. Hince Ø2500 bajo Gran Vía



Imagen 8. Canalización alcantarillado, calle Fernando Madroñal-conexión con colector vía Parque



En el marco del citado Plan Especial de Inversiones, desde el año 2006 a la actualidad, Aguas Municipalizadas de Alicante E.M. ha invertido aproximadamente 28,9 millones de euros en la mejora y ampliación del sistema de alcantarillado de Alicante. Así, se realizó la construcción del depósito anticontaminación José Manuel Obrero en el barrio de San Gabriel y se ejecutaron y renovaron diversos colectores fundamentales para el correcto drenaje de las aguas pluviales.

Adicionalmente y con cargo a sus inversiones ordinarias anuales, Aguas Municipalizadas de Alicante E.M. invierte aproximadamente unos 2 millones de euros anuales en la red de alcantarillado para implementar las mejoras que sobre estas redes se van requiriendo y que no estaban contempladas en el Plan Especial de Inversiones anterior. De estas inversiones, podemos destacar la construcción del Parque Inundable de La Marjal o la red de alcantarillado del puerto. Con cargo igualmente a estas inversiones también se han ejecutado numerosas mejoras y ampliaciones en el sistema de telemando de alcantarillado con objeto de mejorar en la gestión avanzada del drenaje urbano.

Con el objetivo de mantener y renovar la red de alcantarillado para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado de Alicante, AMAEM gestiona adicionalmente todo lo anterior, un fondo de reposición con una cuantía anual aproximada de 1,2 millones de euros, que ha permitido renovar las redes de varios barrios de Alicante.

En resumen, a lo largo de los últimos 20 años se ha cambiado totalmente el estado y la capacidad de las redes de alcantarillado de la ciudad de Alicante. Como muestra, basta comparar, por ejemplo, la longitud de colectores con dimensiones mayores o iguales a un metro que existían en el año 1997 (antes de la riada de aquel año), con un total de 42 kilómetros de una longitud de red de alcantarillado de 492 kilómetros; mientras que en diciembre de 2017 estas cifras pasaron a ser de 116 kilómetros y 798 kilómetros, respectivamente. Esta mejora sustancial en más de 74 kilómetros de grandes colectores capaces de conducir los importantes caudales que se generan durante las lluvias más intensas, y de más de 306 kilómetros de red, han mejorado notablemente la capacidad de Alicante para afrontar este tipo de situaciones. Prueba de ello ha sido el excelente comportamiento de las redes e infraestructuras en las pasadas lluvias del mes de marzo de 2017 (las terceras más copiosas desde 1938), sin apenas registrar incidentes, y normalizándose estos poco tiempo después de la lluvia. Ante una situación análoga y con las redes que se disponían en 1997, las consecuencias y los problemas hubieran sido notablemente superiores.

Este esfuerzo inversor y de mejora no termina aquí, lógicamente, y en los próximos años se continuarán perfeccionándose las redes y preparándose

mejor para afrontar los nuevos retos y objetivos que una ciudad del siglo XXI debe imponerse.

Figura 19. Red de drenaje en 1997 y 2017



Nota: en color rojo, las conducciones de diámetro superior a 1.000 mm.

4.4.3. Gestión avanzada del drenaje urbano

La gestión de las redes de alcantarillado y, de forma más amplia, la gestión del drenaje urbano de nuestras ciudades ha sufrido una evolución más que notable en los últimos años; evolución que va de la mano de los avances en la técnica derivados de la revolución tecnológica ocurrida desde la última década del pasado siglo XX. Este gran salto tecnológico implica, por tanto, un gran cambio en la forma de gestionar las infraestructuras de drenaje urbano de las ciudades, que pasan de ser sistemas pasivos a sistemas activos y desemboca en la denominada Gestión Avanzada del Drenaje Urbano (GADU).

La Gestión Avanzada del Drenaje Urbano integra no solo los procesos de explotación de red, sino que implica e imbrica en los mismos los procesos de planificación, diseño y construcción de infraestructuras.

Los condicionantes que, de forma inequívoca, implican la evolución de un sistema tradicional de drenaje urbano a un sistema avanzado de gestión del mismo, tienen que ver, por un lado, con los cada vez mayores estándares de calidad de vida del ciudadano en el medio urbano; así como con la mayor concienciación acerca del mantenimiento de **estándares de calidad ambiental**, tanto del medio urbano como del medio receptor de los posibles alivios del sistema de alcantarillado en momentos de lluvia, que se cuantifica en una presión cada vez mayor a nivel normativo (donde destaca el último RD 1290/2014) y a nivel social. Por otro lado, el progresivo envejecimiento de las redes de alcantarillado de las ciudades se traduce a su vez en la generación

de nuevos problemas que van en contra de la citada tendencia incremental en calidad social y ambiental de las urbes del siglo XXI.

Los retos que plantea esta evolución son muy amplios, ya que requieren resolver muchos de los problemas que en nuestras ciudades se producen (por causa de las lluvias por los atascos producidos tanto en las propias redes como en sus infraestructuras asociadas —por ejemplo, en las Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales o EBAR—, por la falta de capacidad en algunos colectores derivada de posibles errores de diseño o de su propia falta de mantenimiento o por el citado envejecimiento progresivo de las redes), y, al mismo tiempo, ser más eficientes para proteger el medio ambiente, para reducir los consumos energéticos, para reducir la huella de carbono y garantizar el servicio con la mayor capacidad posible, minimizando los efectos tanto en el funcionamiento normal de los servicios presentes en nuestras ciudades, como en la vida de los ciudadanos (cortes de tráfico por hundimientos, olores, inundaciones, etc.) que en ellas habitan.

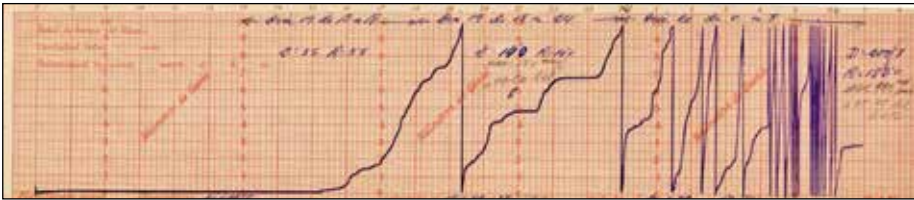
Las herramientas existentes a disposición del explotador de red, que permiten la gestión avanzada de redes, tienen que ver con diversos aspectos que van desde el conocimiento preciso y exhaustivo del sistema, su estado y su funcionamiento y la interacción entre el sistema de drenaje urbano con otros subsistemas relacionados como la depuradora y el medio receptor, hasta la gestión en tiempo real o la resiliencia a condicionantes externos cambiantes cada vez más restrictivos.

Para dar respuesta a los requerimientos de conocimiento del sistema y de su comportamiento existen dos herramientas fundamentales que conforman la base de la gestión avanzada de redes. Una de ellas son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten caracterizar gráficamente los elementos constitutivos de las redes de alcantarillado (pozos, colectores, estaciones de bombeo, etc.) y asociarles sus principales datos relacionales mediante bases de datos. La otra se trata de los sistemas de modelización hidráulica que permiten conocer cómo se comportan las nuevas redes, incluso antes de ser construidas, y su relación con las redes existentes, o que sirven para verificar el comportamiento general de la infraestructura existente frente a diversos eventos de precipitación.

En este sentido, un hito importante que dio pie al conocimiento detallado de las condiciones de contorno de precipitación que actúan sobre la red de alcantarillado de la ciudad de Alicante fue el estudio realizado por Aguas de Alicante en el año 2003, consistente en la digitalización de las series pluviográficas registradas en el Observatorio Meteorológico de Ciudad Jardín, perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), desde el año 1938. En estas series se valora la precipitación acumulada de forma continua en intervalos de precipitación de hasta 10 minutos y permiten el estudio y posterior análisis estadístico de los

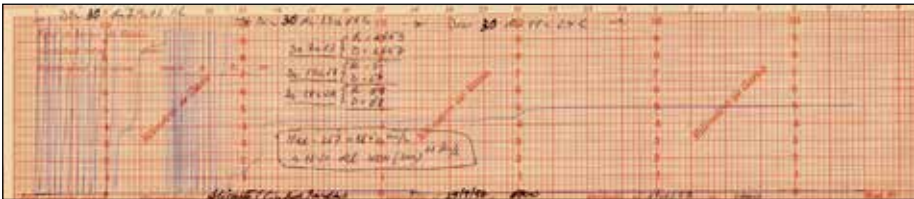
datos en ellas contenidos, otorgando con ellos la posibilidad de generar las curvas patrón de lluvias de la ciudad de Alicante. En total, el proceso de digitalización de estas lluvias implicó la extracción e introducción en bases de datos de hasta 27.624 datos de precipitación registrados en intervalos de 10 minutos, almacenados en papel en los 65 años que comprende la serie temporal.

Figura 20. Pluviograma de la precipitación recogida en el Observatorio Metereológico de Ciudad Jardín el día 20 de octubre de 1982



Fuente: pluviogramas escaneados por AMAEM procedentes del observatorio de Ciudad Jardín.

Figura 21. Pluviograma de la precipitación recogida en el Observatorio Metereológico de Ciudad Jardín el día 30 de septiembre de 1997



Fuente: pluviogramas escaneados por AMAEM procedentes del observatorio de Ciudad Jardín.

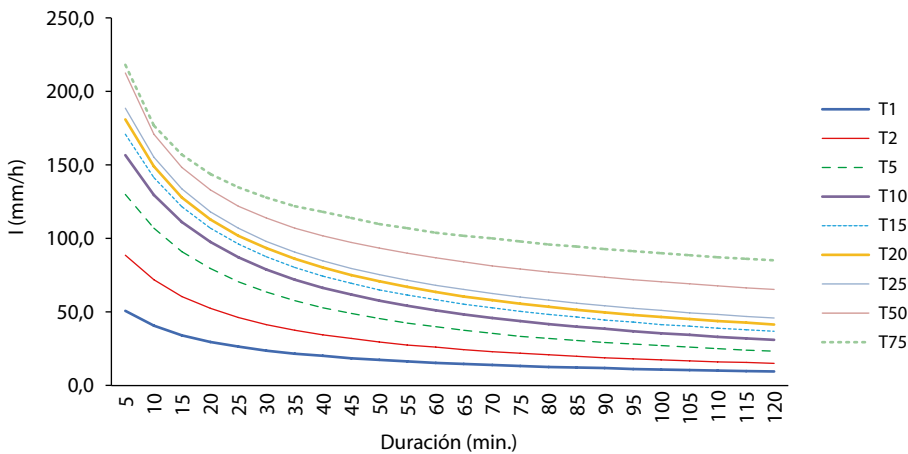
A partir del estudio estadístico de los datos de precipitación anteriormente expresado, Aguas de Alicante ha podido generar las curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia) propias de la ciudad, esto es, ha obtenido la relación matemática existente entre la intensidad de las lluvias caídas en la ciudad, la duración de la precipitación y la frecuencia de su ocurrencia. La representación gráfica de dicha relación matemática se ve en la figura 22.

Por su parte, la gestión en tiempo real vendrá condicionada por la existencia de un sistema de telemando y telecontrol que incluirá, entre otros, la instrumentación para detectar problemas o alivios del procedimiento o para controlar a distancia el funcionamiento de infraestructuras asociadas a la red, como estaciones de bombeo, compuertas, etc.

La gestión avanzada abarca también el campo del mantenimiento de redes, que busca en este caso mantener el sistema de alcantarillado en las mejores

condiciones posibles de conservación y funcionamiento, optimizando la gestión de los medios y recursos disponibles y dando prioridad a la prevención. Para llevar a cabo esta labor, es necesario contar con herramientas de apoyo a la decisión que permitan conocer la evolución del envejecimiento de las redes y la optimización de las rehabilitaciones y renovaciones de las mismas, así como optimizar las limpiezas de las redes en función de la propensión de las mismas a ensuciarse.

Figura 22. Curvas IDF propias de la ciudad de Alicante, obtenidas a partir del estudio estadístico basado en datos reales del Observatorio Meteorológico de Ciudad Jardín en el periodo 1938-2003



Un último punto muy importante dentro de la Gestión Avanzada del Drenaje Urbano es la adecuada gestión del riesgo ante eventos de precipitación extrema, o bien ante posibles disfunciones del sistema, que puedan alterar la calidad de los medios receptores o las propias estaciones depuradoras.

Para llevar a cabo la misión de protección frente al riesgo de inundaciones en ámbitos urbanos, es necesario, por una parte, disponer de inversiones en infraestructura que minimicen los riesgos y, por otra, desarrollar planes integrales de gestión de riesgo o adoptar sistemas de predicción y alerta ante eventos extremos que pongan al límite el funcionamiento de las redes.

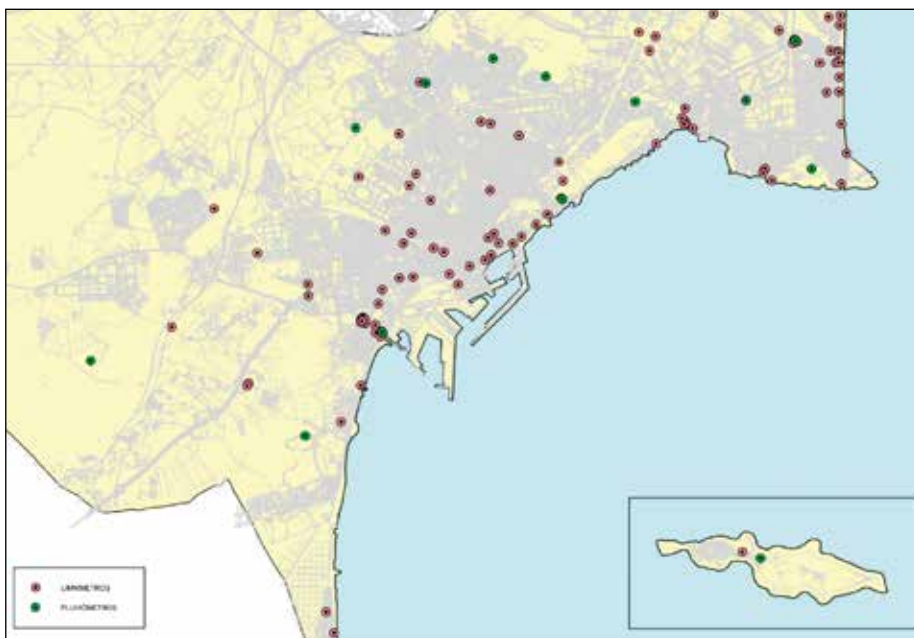
Las soluciones para la gestión del riesgo ante eventos excepcionales consisten en la creación de sistemas tecnológicos de previsión, alerta temprana y/o seguimiento de los mismos. Estas herramientas o sistemas tecnológicos basan su funcionamiento en:

- Previsiones meteorológicas.

- Control en tiempo real de precipitaciones.
- Control de los niveles o caudales en el interior de los colectores.
- Alerta por posibles alivios al medio receptor en tiempo seco o en tiempo de lluvia.
- Control de vertidos industriales sobre las redes de alcantarillado.
- Modelización del comportamiento de los medios receptores ante eventos de alivio de los sistemas de alcantarillado.

En la actualidad, Aguas de Alicante, con el objetivo de dar solución a las problemáticas de gestión del riesgo mediante el empleo de sistemas tecnológicos, dispone de una amplia sensorización presente en la red de alcantarillado de la ciudad, que permite un control en tiempo real de los caudales circulantes por la misma y de las condiciones meteorológicas imperantes en el ámbito urbano y sus alrededores. Así, se encuentran distribuidos en el término municipal un total de 24 pluviómetros (12 de ellos distribuidos en la propia ciudad) y 102 limnímetros (medidores de nivel del fluido), ubicados en el interior de la red de alcantarillado, estaciones de bombeo, grandes colectores, cauces de barrancos y en el interior tanto de las infraestructuras ligadas al depósito anti-DSU (anti-Descargas del Sistema Unitario al medio receptor) de San Gabriel como al Parque Inundable de la playa de San Juan.

Figura 23. Distribución espacial de pluviómetros (en color verde) y limnímetros (en color rojo) en la ciudad de Alicante e isla de Tabarca



En resumen, para poder abordar mediante una gestión moderna, sostenible, eficaz y eficiente que aproveche todos los recursos que la tecnología y el conocimiento nos proporcionan, la gestión avanzada del siglo XXI se ha de apoyar en las siguientes herramientas o sistemas tecnológicos, siempre bajo el enfoque del desarrollo sostenible:

- Sistemas de información geográfica y bases de datos (actualizados permanentemente; por ejemplo, inspecciones de cámaras de televisión, limpiezas de red, etc.).
- Conocimiento y comprensión de las condiciones de contorno (precipitaciones, infiltraciones, etc.).
- Modelización hidráulica.
- Modelización del comportamiento de los medios receptores ante eventos de alivio de los sistemas de alcantarillado.
- Planificación de riesgos y planes de gestión de emergencias (protocolos de alerta y actuación, coordinación, simulacros, etc.).
- Instrumentación para detectar problemas o alivios del sistema (en tiempo real).
- Herramientas de apoyo a la decisión para estimar la evolución del envejecimiento de las redes y la optimización de las rehabilitaciones y renovaciones de redes.
- Herramientas para la optimización del mantenimiento y limpieza de las redes en función de su “ensuciabilidad”, garantizando que disponen de toda su capacidad hidráulica.
- Telemando y telecontrol de infraestructuras asociadas a la red (por ejemplo, estaciones de bombeo, compuertas, infraestructuras singulares de retención de aguas como depósitos anticontaminación, antiinundación, etc.).

Todas estas herramientas seguirán evolucionando y adaptándose a los nuevos retos que día a día van surgiendo. Debemos favorecer la resiliencia de nuestras ciudades, ligada al comportamiento de las infraestructuras de drenaje, implicando a toda la sociedad en este reto. Desde este punto de vista todos podemos contribuir al mismo, evitando verter en los inodoros elementos que supongan un aumento del riesgo para el funcionamiento de las redes, como

son las denominadas “toallitas” u otros desechos en la vía pública que puedan limitar la capacidad de captación de las rejillas, etc.

4.4.4. Actuaciones singulares: el depósito anticontaminación José Manuel Obrero y el parque inundable La Marjal

El uso de aguas pluviales, retenidas en depósitos o en parques inundables, constituye una alternativa de extraordinario interés para paliar la escasez natural de recursos hídricos e incrementar la resiliencia de estos territorios ante los posibles efectos que tendría el cambio climático en áreas mediterráneas. A este factor, habría que incorporar otras ventajas, entre las que cabría hacer mención a su carácter de recurso renovable, su obtención a escala local (lo que elimina las tensiones entre territorios por su uso), su acceso (al menos a priori, gratuito) y una disponibilidad relativamente fácil, siempre que se adopten a escala doméstica y vinculados a estrategias de cosecha de agua y drenaje urbano sostenible.

El uso potencial que ofrecen las aguas pluviales retenidas con este tipo de infraestructuras “blandas” que no suponen una transformación radical de las tramas urbanas se presenta, además, como una forma inteligente de adaptación al cambio climático y sus posibles efectos en el área mediterránea: una mayor irregularidad de las precipitaciones y mayor intensidad (mayor escorrentía) y una mayor duración de los periodos secos (escasez de recursos hídricos).

Aguas de Alicante ha desarrollado en la ciudad de Alicante dos actuaciones de estas características que se han convertido en ejemplos de buenas prácticas en la gestión de la escorrentía urbana y el potencial uso posterior del agua pluvial. Se trata del depósito José Manuel Obrero en el barrio de San Gabriel y del parque inundable La Marjal en el sector urbano de la playa de San Juan. De esta manera, el agua de escorrentía procedente de lluvias intensas que caen sobre la ciudad no solo permite aumentar la oferta del recurso, sino también reducir el riesgo de inundación. Y a ello se suma el beneficio ambiental que supone evitar que el lavado de calles, con sus restos de contaminación, que llevan a cabo las aguas de lluvia pueda incrementar coyunturalmente la contaminación del agua y de las playas al depositarse en ellas sin depuración. Esto cobra gran importancia si se tiene en cuenta la relevancia económica del turismo de sol y playa que se desarrolla en muchas ciudades del litoral mediterráneo español, entre ellas, la ciudad de Alicante.

Depósito anticontaminación José Manuel Obrero

Como en la mayoría de las ciudades de nuestro entorno, las redes de alcantarillado tienen un funcionamiento predominantemente unitario, es decir, en el

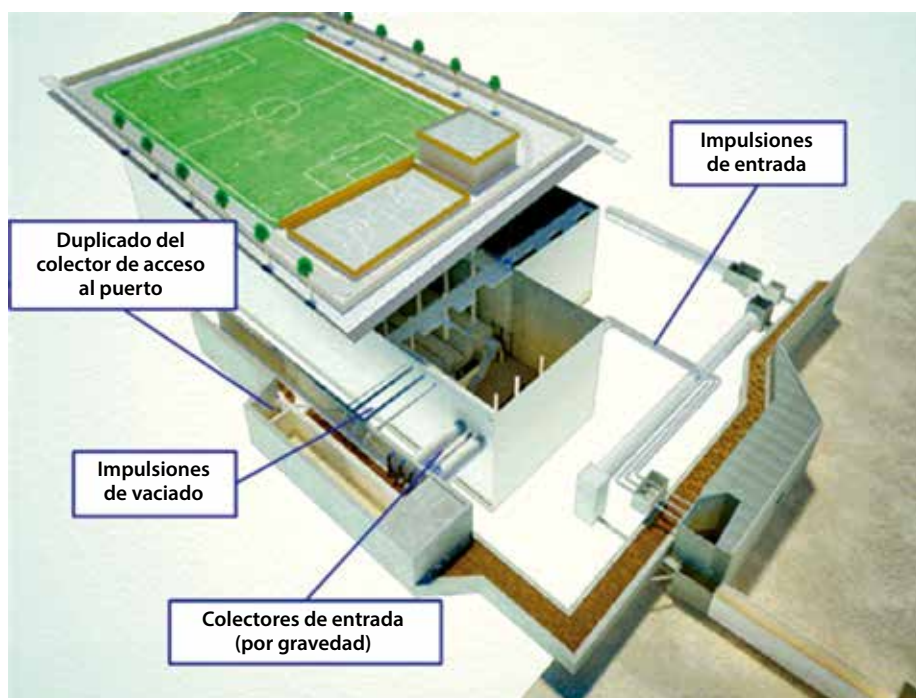
que las aguas de lluvia han de evacuarse a través de los mismos colectores por los que circula el agua residual cada día. Esto presenta múltiples inconvenientes, entre otros, la imposibilidad de separar, una vez unidos, los dos tipos de aguas: las de lluvia y las residuales.

En el caso de Alicante, donde el porcentaje de redes unitarias en la actualidad es del 86%, se ha presentado históricamente un problema en la zona de Cros-San Gabriel, por ser donde se concentran las aguas, tanto de lluvia como residuales, que se generan en una cuenca de unas 1.250 has. Esto representa aproximadamente el 50% de la zona urbana de la ciudad lo que, unido al hecho de contar con precipitaciones intensas y pendientes medias o elevadas en esta zona de la ciudad, provoca que se generen caudales muy elevados en el final de la cuenca que exceden la capacidad de las estaciones de bombeo y del propio tratamiento de la Depuradora de Rincón de León, no por estar estas infradimensionadas, sino por la imposibilidad antes expresada de poder tratar en un agua unitaria tales valores de caudal y volumen.

En tanto las redes no sean completamente separativas, es decir, que las aguas pluviales circulen por unos colectores y las residuales por otros, la situación en la mayoría de nuestras ciudades seguirá presentando este tipo de problemas. Sin embargo, podemos mitigar estos problemas mediante la construcción de infraestructuras de retención, capaces de almacenar temporalmente grandes volúmenes de agua y, al mismo tiempo, retener la mayor parte de los arrastres que se generan en el interior de los colectores durante una lluvia, de ahí la denominación de “anticontaminación” o “anti-DSU” (anti-Descargas del Sistema Unitario), que se les atribuye a depósitos como el construido en el barrio de Cros-San Gabriel, por parte de Aguas de Alicante, entre el verano de 2009 y abril de 2011.

El depósito anticontaminación de Cros-San Gabriel, también denominado Depósito Ingeniero José Manuel Obrero en homenaje a una de las personas que con mayor ahínco trabajó para que este depósito sea hoy en día una realidad, tiene una capacidad de almacenamiento de 60.000 m³ (20 piscinas olímpicas), está situado bajo el campo de fútbol del polideportivo Juan Antonio Samaranch y contribuye notablemente desde el otoño de 2011 a reducir los alivios de la red de alcantarillado al barranco de Las Ovejas. En los últimos cinco años, se han capturado más de 2.000.000 m³ de agua en este depósito, agua que no solo se ha evitado aliviar al barranco, sino que, además, se ha podido enviar poco a poco a la depuradora después de cada lluvia, permitiendo su reutilización para el riego agrícola o de zonas verdes de la ciudad.

Figura 24. Esquema del depósito anticontaminación José Manuel Obrero



La inversión se realizó dentro del marco del Plan Especial de Inversiones de Aguas de Alicante con una dotación total de más de 55 millones de euros, de los cuales cerca de 15 fueron destinados a la construcción de este singular depósito, que ya forma parte del patrimonio sin muchas veces ser visto desde el exterior y que continuará durante muchos años aportando beneficios medioambientales a nuestra ciudad.

Este tipo de infraestructuras cuenta con innumerables instalaciones y equipos de alta tecnología, dado que todo se controla remotamente, y permanece activo las 24 horas del día, todos los días del año, preparado siempre para entrar en funcionamiento cuando se requiere. Entre los múltiples elementos con los que cuenta podríamos destacar 20 bombas hidráulicas para impulsión o extracción del agua acumulada con cerca de 500 kW de potencia instalada, turbinas de extracción y renovación del aire con capacidad para 36.000 m³/h, 9 sensores de nivel de agua, 16 detectores de gases, compuertas, depósitos de agua regenerada para limpieza, un sistema antiincendios, salas de cuadros de maniobra y telemando, una sala de transformador de 800 kVA, un grupo electrógeno de 550 kVA, etc.

Imagen 9. Depósito anticontaminación José Manuel Obrero en funcionamiento tras un episodio de lluvias intensas sobre la ciudad de Alicante



Parque inundable de La Marjal

En otras ocasiones los problemas a resolver no vienen dados por la existencia de redes unitarias, a veces incluso con redes separativas pluviales podemos encontrarnos situaciones donde se pueden producir desbordamientos de los colectores o inundaciones locales, este es el caso de la zona conocida como Hoyo 1, en las proximidades del campo de golf de Alicante, en la playa de San Juan de Alicante. En esta zona, antes de la construcción del parque de La Marjal, por la falta de capacidad de todos los colectores pluviales de la zona (que se llenaban por completo durante muchas de las lluvias) y por su ubicación (en una zona relativamente deprimida en cuanto a su posibilidad de evacuar las aguas de escorrentía superficial por los viales), se generaban inundaciones locales.

La construcción del parque permitió conectar a través de un colector de gran capacidad el punto bajo relativo de la zona del Hoyo 1 con el propio parque, de tal manera que, antes de inundarse esta zona, las aguas pasarían a inundar el parque hasta un máximo de 45.000 m³, evitando con ello el daño a la zona de las urbanizaciones.

Además de esta función hidráulica para evitar las inundaciones, el parque tiene una importante función social y medioambiental, dado que constituye un lugar de esparcimiento para todos los ciudadanos que acuden al parque y, al mismo tiempo, constituye una nueva zona verde con gran cantidad de especies vegetales y fauna, que hace de este lugar un paraje verdaderamente singular y muy agradable de visitar.

La ejecución de esta obra se realizó durante los años 2014 y 2015, fecha en la que quedó inaugurado el parque. El coste de toda la obra, incluida la ejecución de los nuevos colectores y las rejillas que se dispusieron para evitar la inundación en la zona del Hoyo 1, supuso una inversión total por parte de Aguas de Alicante de unos 3,5 millones de euros.

Este parque de La Marjal ha constituido un nuevo referente a la hora de resolver problemas hidráulicos por inundación al tiempo que se generan soluciones urbanas sostenibles y, por ello, ha sido objeto de múltiples reconocimientos, como el otorgado a la obra con “Mejor integración en el entorno y respecto al medio ambiente” en la provincia de Alicante en 2015, concedido por la Federación de Obras Públicas de la provincia de Alicante (FOPA) en su XIII edición; igualmente ha recibido el Premio Alhambra en su edición XXIII, de la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP), y actualmente opta al Premio Hábitat de Buenas Prácticas, que entrega la ONU cada dos años.

Figura 25. Esquema del parque inundable La Marjal (playa de San Juan, Alicante) en su estado habitual y en caso de retención de lluvias



Imagen 10. Vista general del parque inundable La Marjal (playa de San Juan, Alicante)



A lo largo de los dos años que lleva abierto este parque ya se han podido recoger cuatro lluvias que han provocado la entrada del agua al mismo, evitando con ello la inundación de la zona del Hoyo 1. La última y más reciente fue la lluvia del pasado día 13 de marzo de 2017, fecha en la que entraron más de 15.000 m³ de agua al parque, con una lluvia de 92 l/m² en la zona de la playa de San Juan.

Desde el punto de vista medioambiental este parque, además, se gestiona con el máximo respeto hacia todas las plantas y animales que viven en él; de modo que, para el mantenimiento de la lámina permanente de agua regenerada, se utilizan tratamientos totalmente sostenibles y naturales. También se han instalado nidos para murciélagos, fochas, aviones, vencejos y otro tipo de pequeñas aves, que permiten el control de insectos, entre otros. Desde su inauguración han anidado multitud de estas especies, además de patos, e incluso algún martín pescador; todo ello hace que este espacio pionero en su diseño y función sea un lugar a imitar en muchas de nuestras ciudades.

Imagen 11. Efectos de llenado con 15.000 m³ del parque inundable La Marjal con ocasión del episodio de lluvias intensas del 13 de marzo de 2017



4.4.5. Diagnóstico del riesgo de inundaciones en la ciudad de Alicante: el episodio de lluvias muy intensas del 13 de marzo de 2017

Finalizadas en 2005 la serie de obras incluidas en el Plan Antiinundaciones en la ciudad y término de Alicante (construcción de los grandes colectores), así como la serie de actuaciones complementarias desarrolladas con posterioridad, el riesgo de inundaciones se ha atenuado considerablemente. Tan solo una precipitación *in situ* superior a 400 mm en un intervalo de 2 horas focalizada sobre el propio término municipal rebasaría la capacidad de evacuación de la red de pluviales instalada. Se trata de un volumen de precipitación no registrada en la ciudad de Alicante desde que se dispone

de registro meteorológico (1855), si bien no improbable en el espacio geográfico de la fachada mediterránea española, donde no se desconocen registros de esta cuantía ni superiores en intervalos de menos de 6 horas.

Desde las inundaciones de septiembre de 1997, la ciudad de Alicante no había registrado un episodio de cuantía y concentración de lluvias tan importante como para poder probar el conjunto de obras de drenaje urbano desarrolladas en las últimas dos décadas. Pero en marzo de 2017, el día 13, se desarrolló un episodio de lluvias torrenciales sobre la ciudad y término de Alicante. Se trató de un evento singular, puesto que no es frecuente que en un mes de invierno se desarrollen lluvias tan cuantiosas. No obstante, debe explicarse su génesis en el contexto de un otoño-invierno 2016-2017 algo anómalo en lo atmosférico en la fachada mediterránea española y, especialmente, en su mitad meridional, con la ocurrencia de eventos de lluvia torrencial con una frecuencia poco común (Málaga, Murcia, Alicante, sur de Valencia). Fue la consecuencia del reajuste atmosférico debido a la finalización del intenso evento de El Niño en el Pacífico y el inicio de una fase positiva de la oscilación noratlántica que favorece la génesis reiterada de situaciones de elevada inestabilidad en esta parte de España.

En definitiva, el episodio de lluvias torrenciales del 13 de marzo de 2017, sin alcanzar la cuantía de las lluvias registradas en octubre de 1982 y septiembre de 1997, supuso el tercer dato de lluvia en 24 horas más elevado registrado en la ciudad de Alicante, con un valor de intensidad horaria muy destacado. De manera que su desarrollo ha servido para realizar un diagnóstico de la efectividad de las actuaciones de drenaje realizadas en la ciudad desde 1997.

Ese día tuvo lugar, en efecto, un episodio de lluvias torrenciales en la ciudad de Alicante y municipios de la comarca de L'Alacantí (San Vicente del Raspeig, San Juan, Mutxamel y Campello), debido a la génesis de una situación atmosférica de elevada inestabilidad motivada por la instalación de una bolsa de aire frío en las capas medias y altas de la atmósfera (configuración atmosférica de gota fría). El resultado fue el desarrollo de un episodio pluviométrico de torrencialidad con registros que han marcado un récord de cuantía en 24 h, según el observatorio oficial de Ciudad Jardín, y valores de intensidad horaria de dicha lluvia por encima de 40 mm/h. Las consecuencias fueron la salida de barrancos y ramblizos que se ubican en la comarca de L'Alacantí y la formación de áreas de encharcamiento en las zonas bajas del área afectada por la tormenta.

El propio observatorio de Alicante (Ciudad Jardín) anotó un volumen de 136,6 l/m² a lo largo de toda la jornada. No obstante, el momento de mayor

intensidad de lluvia ocurrió entre las 18 y 21 horas (hora civil) de dicha jornada, cuando se acumuló un 70% de la lluvia total registrada en ese día.

Asimismo, entre las 18 y 20 horas, la precipitación alcanzó gran intensidad horaria, como demuestra el dato oficial anotado en el observatorio de Alicante (Ciudad Jardín) de 48,8 l/m² una hora, en ese intervalo; y asimismo, el dato de acumulación es de 23 litros en tan solo 10 minutos.

De manera que estamos ante un evento de elevada intensidad horaria, que supuso la acumulación de una cantidad importante de agua en poco intervalo de tiempo.

Tabla 7. Valores de lluvia intensa registrados en el observatorio de Alicante (Ciudad Jardín), durante el episodio del 13 de marzo de 2017

Día	T. máx. (°C)	T. mín. (°C)	T. media (°C)	Racha (km/h)	V. máx. (km/h)	Pr. 00-24 h (mm)	Pr. 00-24 h (mm)	Pr. 00-06 h (mm)	Pr. 12-18 h (mm)	Pr. 18-24 h (mm)
	(Hora)	(Hora)		(Hora)	(Hora)					
15 mar 2017	18.4 (14:10)	8.0 (06:10)	13.2	37 (10:40)	22 (14:00)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14 mar 2017							0.2	0.0		0.0
13 mar 2017	13.6 (23:20)	8.0 (07:40)	10.8	61 (17:20)	28 (17:30)	137.4	21.4	8.4	24.6	83.0
12 mar 2017	22.0 (14:00)	12.2 (03:10)	17.1	23 (22:10)	12 (15:50)	4.8	0.0	0.0	0.0	4.8
11 mar 2017	22.3 (14:50)	9.8 (06:50)	16.0	17 (14:20)	10 (15:00)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10 mar 2017	32.5 (12:50)	14.0 (23:59)	23.3	33 (13:40)	20 (13:40)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9 mar 2017	27.4 (14:30)	10.5 (04:30)	18.9	19 (12:40)	1313 (12:40)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: AEMET. Observatorio de Ciudad Jardín (Alicante).

En otras localidades de la comarca, los valores de lluvia en 24 horas anotados por estaciones pertenecientes a aficionados (AVAMET⁸, Meteoclimatic⁹) o entidades públicas oficiales (pero no integrados en la red de observatorios de AEMET), fueron asimismo muy elevados:

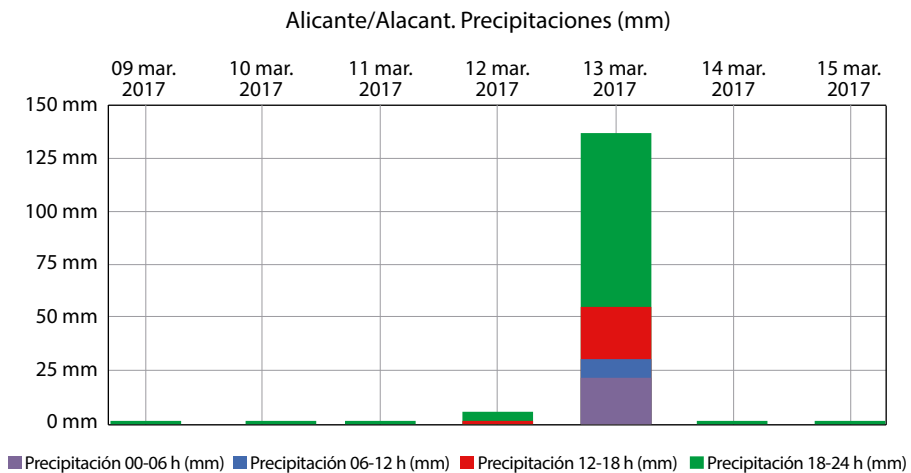
- San Vicente del Raspeig: 171 l/m².
- Laboratorio de Climatología (Universidad de Alicante): 200 l/m².

⁸ Disponible en el enlace: www.avamet.org

⁹ Disponible en el enlace: www.meteoclimatic.net

- Agost: 139,3 l/m².
- Alicante (cabo de las Huertas): 134 l/m².
- Alicante (playa de San Juan): 138 l/m².
- San Joan d'Alacant: 127 l/m².

Figura 26. Gráfico de intensidad horaria de la lluvia acumulada en el observatorio de Alicante (Ciudad Jardín) durante el episodio de lluvias intensas del 13 de marzo de 2017



Fuente: AEMET. Observatorio de Ciudad Jardín (Alicante).

El área de mayor concentración de precipitaciones e intensidad horaria de las mismas, en la tarde del 13 de marzo, fue el eje comprendido entre la ciudad de San Vicente del Raspeig-San Joan d'Alacant-playa de San Juan. En esta franja de territorio, especialmente en el área entre San Joan d'Alacant y la playa de San Juan, es donde se registraron los daños más importantes por anegamiento de viviendas, edificios y locales allí situados. Especialmente problemáticas por la acumulación de agua registrada resultaron la zona entre el hospital de San Juan y el área urbana del Hoyo 1 de la playa de San Juan, así como la franja costera de la playa de San Juan, al norte de la avenida de la Costa Blanca.

Como consecuencia de las citadas precipitaciones, el depósito anticontaminación ubicado en el barrio de San Gabriel alcanzó su valor máximo de llenado, lo que significa que dicha infraestructura almacenó los 60.000 m³ de aguas unitarias para los que fue diseñado, evitando con ello el alivio de esta cantidad al medio receptor.

Por otra parte, el parque inundable La Marjal, ubicado en la playa de San Juan, entró en funcionamiento a partir de las 18:00 horas del día 13 de marzo de 2017, finalizando su proceso de llenado a las 22:30 horas. En total, el volumen de aguas pluviales almacenado en esta infraestructura alcanzó los 15.500 m³, aproximadamente un 35% de su capacidad de almacenamiento total, lo que constituye el máximo volumen almacenado desde su puesta en servicio en el año 2015.

Adicionalmente, los colectores antirriadas de la ciudad funcionaron de manera adecuada, evacuando los caudales pluviales generados en el centro de la ciudad y en la playa de San Juan hacia los principales barrancos que la circundan y al mar. A su vez, las diferentes estaciones de bombeo de aguas unitarias y pluviales distribuidas en la ciudad funcionaron de manera continua, sin paros, llegando a sus niveles máximos de almacenamiento y funcionamiento.

Es de destacar que en este episodio de lluvia intensa del 13 de marzo de 2017 no se registraron problemas ni avisos relacionados con el funcionamiento de la infraestructura hidráulica existente en zonas consideradas conflictivas.

En síntesis, el episodio de lluvias intensas de marzo de 2017 ha puesto de manifiesto la utilidad de estas obras, que han evitado daños importantes en la ciudad y su término municipal. No obstante, se ha manifestado que la evacuación de aguas pluviales en la entrada de la avenida de Denia (antiguo trazado del barranco de Bon Hivern) requiere de aliviaderos de mayor capacidad bajo el puente del TRAM, junto al centro comercial Plaza Mar 2. Igualmente, este episodio de lluvias confirmó que el sector urbano en torno a la avenida de Miriam Blasco en la Condomina precisa de actuaciones que mitiguen el nivel de encharcamiento del agua que se alcanza con lluvias superiores a 30 mm/h. Igualmente, el anegamiento que se desarrolló durante varios días tras el episodio de lluvias en el área de la playa de San Juan, comprendida entre la plaza de la Coruña, la glorieta de la Democracia y la avenida de Niza, obligará a desarrollar nuevas actuaciones de evacuación de pluviales en un área compleja por su configuración topográfica (antigua Marjal) y proximidad al nivel del mar.

4.5. Retos futuros del drenaje urbano. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como medidas de adaptación al cambio climático

El cambio climático es uno de los mayores retos a los que el drenaje urbano se debe enfrentar en los próximos años. En teoría, es debido tanto a causas naturales como antropogénicas, ya que la Convención Marco de las

Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término “cambio climático” solo para referirse al cambio por causas humanas, tales como la industrialización o la urbanización (que conllevan un mayor uso de combustibles fósiles para la climatización doméstica, el aumento de superficies impermeables, la disminución de las masas de agua naturales y la pérdida de la vegetación, etc.).

Los cambios exactos en los patrones de precipitación son difíciles de predecir y variarán de una región a otra, aunque se espera que las áreas secas lo serán más y las áreas propensas a tormentas se enfrentarán a eventos más severos (IPCC, 2007; NCA, 2009).

A pesar de necesitar cambiar urgentemente nuestras fuentes de energía por fuentes más limpias y renovables para abordar las causas de este cambio climático, también nos debemos preparar para los impactos climáticos presentes y futuros. La capacidad de las ciudades para prosperar frente al rápido crecimiento y a un clima cambiante dependerá de la forma en que se planifiquen, desarrollen y gestionen estas ciudades en las próximas décadas.

Imagen 12. Monasterio y plaza de la Santa Faz (Alicante), situado junto al cauce del barranco del Juncaret. Episodio de lluvias intensas del 13 de marzo de 2017



Fuente: Alicante Ambulancias.

Esto representa una serie de desafíos para las áreas urbanizadas, donde las superficies impermeables impiden la infiltración natural del agua. La infraestructura

de drenaje convencional o histórica, en la mayoría de ciudades ya muy envejecida, que recoge y transporta conjuntamente aguas residuales y pluviales (sistema unitario), puede resultar insuficiente e ineficiente a la hora de gestionar estos caudales para los que no fueron diseñadas, llegando a episodios de inundaciones (con impactos sobre personas y bienes) y descargas del sistema unitario (DSUS) con impactos sobre los medios receptores (impacto ambiental, social y económico); que, en caso de Alicante, incluye sus 15 km de playa.

Parece, por tanto, imprescindible predecir la magnitud de los impactos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico para diseñar unos sistemas de drenaje adaptados al futuro. La adaptación de estos sistemas no puede basarse únicamente en la construcción de infraestructura convencional (ampliación de colectores, construcción de depósitos de retención, etc.), ya que puede resultar inasumible para la mayoría de ciudades (debido a su elevado coste) no siendo la solución más sostenible. En este sentido, tecnologías alternativas como las soluciones basadas en la naturaleza o Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SDUS) se deberían también tener en cuenta.

Las soluciones basadas en la naturaleza (*nature-based solutions*, en inglés) generalmente conllevan una gestión y un uso sostenible de la naturaleza para abordar desafíos sociales como el cambio climático, la gestión del agua, la seguridad alimentaria y la gestión del riesgo de desastres. Por ejemplo, la protección de los manglares en las zonas costeras puede limitar los riesgos de erosión asociados a condiciones meteorológicas extremas, al mismo tiempo que proporciona viveros para la producción de pescado para alimentar a la población local y capturar CO₂. De manera similar, los tejados o muros verdes pueden utilizarse, en la edificación, para enfriar las zonas urbanas durante el verano, captar agua de lluvia, reducir la contaminación y aumentar el bienestar de la población, al tiempo que mejoran la biodiversidad y conectan la ciudad con un ecosistema más amplio.

Para intentar minimizar los efectos negativos del cambio climático sobre el medio natural y sobre la salud y el bienestar de las personas, las estrategias de ordenación del territorio y los planes urbanísticos deben prestar una atención especial a la información climática y a la distribución del territorio entre los distintos usos y actividades, integrando entre sus objetivos impedir y prevenir la degradación de los recursos naturales, procurando un mejor aprovechamiento de los mismos y la adaptación de las ciudades a las características bioclimáticas de la zona. En este sentido, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático propone varias actuaciones, entre las que encontramos: el desarrollo y la promoción de la bioconstrucción, especialmente en

todos los edificios públicos, o la evaluación de los requerimientos de las especies y variedades vegetales de parques y jardines bajo distintos escenarios de cambio climático, ya que los espacios verdes pueden llegar a ser cada vez más importantes para aliviar los efectos del aumento de las temperaturas.

Dentro de estas medidas, el Drenaje Urbano Sostenible es una alternativa al enfoque convencional que va mucho más allá de simplemente mitigar las inundaciones y gestionar la calidad del agua de escorrentía urbana. Los SUDS pueden definirse como elementos integrantes de la infraestructura urbano-hidráulico-paisajística cuya misión es compensar el efecto que la urbanización e impermeabilización de las ciudades ejercen sobre la cantidad y contaminación de la escorrentía de agua de lluvia generada, mediante la captación, retención o infiltración en el terreno, de forma que esta no sufra ningún deterioro e incluso permita la eliminación, de forma natural, de al menos parte de la carga contaminante que haya podido adquirir durante los procesos de escorrentía urbana previa. Todo ello tratando de reproducir, lo más fielmente posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación del hombre. Existen diferentes tipologías de SUDS de las cuales podemos poner como ejemplo: los tejados verdes o cubiertas ecológicas, los pavimentos permeables, las franjas o drenes filtrantes, las cunetas verdes, los depósitos de detención, los estanques de retención, los humedales, etc.

Imagen 13. Ejemplos de SUDS



Nota: a la izquierda parque inundable de la Marjal en Alicante, en el centro ejemplo de tejado verde en el Ayuntamiento de Chicago y derecha cuneta verde.

Fuente: AIRCUD (Aqualogy International Research Center for Urban Drainage)

Adoptar este enfoque innovador, alternativo y sostenible de la gestión del agua de lluvia en entornos urbanos reporta una serie de beneficios añadidos entre los que cabe citar los siguientes:

- Reducción del riesgo de inundación aguas abajo, derivado de la disminución de volúmenes y caudales punta de escorrentía.

- Menor interferencia en los regímenes naturales de las masas de aguas receptoras, tanto en calidad como en cantidad.
- Mejor funcionamiento de las estaciones depuradoras, al reducirse el influente en las mismas y tener este un patrón de contaminantes más constante.
- Reducción del efecto de isla de calor en las ciudades, contrarrestando el aumento de temperatura provocado por superficies asfaltadas y hormigonadas. Se ha comprobado que parques de solo 1-2 hectáreas pueden tener 2 °C menos que zonas de edificios adyacentes.
- Disminución del consumo de energía, tanto en refrigeración y calefacción de instalaciones como por la disminución del volumen de agua a tratar en los procesos de depuración tradicionales.
- Creación de hábitats que favorecen la presencia de biodiversidad en las ciudades.
- Incremento del valor añadido de las urbanizaciones, debido a la calidad paisajística del entorno y a la dotación de zonas recreacionales adicionales e incremento de la calidad de vida de los habitantes de las ciudades.

Por ejemplo, el uso de humedales artificiales y de estanques, además de poder tener un uso recreativo, ayuda a impedir la aparición de altas temperaturas, ya que las masas de agua actúan como amortiguador térmico; las zonas de biorretención almacenan agua de forma superficial que luego se evapora, realizando así una función también de control térmico; o las cubiertas verdes, que no solo contribuyen al llamado “efecto oasis” de las ciudades por disponer de vegetación y favorecer el desarrollo de la biodiversidad, sino que además suponen un medio de ahorro en climatización de los edificios. Actúan como medio aislante reduciendo el gasto en calefacción y aire acondicionado, evitando el consumo energético que conlleva el calentamiento de las ciudades.

Finalmente, por poner unos ejemplos de beneficios cuantificados de estas medidas: el programa *New York's Heat Island Reduction Initiative*, que se centra en el aumento del porcentaje de vegetación, en particular las cubiertas verdes, ha calculado que, en caso de que un 50% de los tejados planos de Nueva York se reverdezcan, el efecto de isla de calor de la ciudad se podría reducir hasta en un 0.88 °C. O en Philadelphia (*City of Philadelphia*, 2009)

se ha estimado que la gestión del 50% de la superficie urbana impermeable a través de SUDS proporcionará a la ciudad unos 2,8 billones de dólares en beneficios para el 2049 gracias a la mejora de la calidad del agua y del aire, la creación de espacio recreacional y la disminución de la temperatura de la ciudad.

Queda demostrado, por tanto, que las soluciones basadas en la naturaleza, en general, y los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible, en particular, son una alternativa reconocida para hacer frente a los retos derivados del cambio climático que, como se ha demostrado, afectarán (y ya están afectando) a la gestión del ciclo urbano del agua, al proporcionar soluciones y servicios con equivalentes o similares beneficios a la infraestructura convencional. Son, por tanto, la opción de futuro por las que las ciudades sin duda han de apostar para convertirse en ciudades resilientes.

Imagen 14. Propuesta de ciudad verde del futuro según ARUP



Fuente: Cities Alive, ARUP, 2016.

5. CONCLUSIONES

El año 2018 ha visto una de las raras ocasiones en las que una noticia meteorológica no relacionada con grandes desastres —huracanes, inundaciones, olas de frío— se ha hecho un hueco en las portadas, al ser Ciudad del Cabo, en Sudáfrica, la primera gran urbe del planeta en declarar la Catástrofe Natural por falta de agua.

Puede resultar extraña la mención a esta situación en las conclusiones de un estudio dedicado al impacto del cambio climático en el Mediterráneo, pero tal vez sea conveniente recordar que todas las descripciones coinciden en describir el clima de Ciudad del Cabo como “de tipo mediterráneo”. Como hemos visto, la cuenca del Mediterráneo es una de las áreas mundiales donde se estima que puedan ser más evidentes los cambios en las condiciones climáticas durante las próximas décadas, incrementándose los eventos extremos de temperatura y precipitación (sequías y lluvias torrenciales). ¿Es tal vez Ciudad del Cabo un adelanto del futuro que nos espera?

No necesariamente. Si ahondamos en la comparación, nos encontramos con una sorpresa: la precipitación media anual de la capital sudafricana varía entre 515 mm y 1.310 mm (la variación se debe, sobre todo, a las grandes diferencias entre las zonas costeras y las de montaña). Hablamos, por tanto, de una precipitación anual que supera de largo y puede llegar a cuadruplicar la de Alicante (en torno a 300 mm). Así pues, en términos de lluvias, Alicante podría representar, si acaso, el futuro de Ciudad del Cabo, y no a la inversa. De hecho, de acuerdo con varios estudios (Robert I. McDonald *et al.*, 2014), la mayoría de las grandes ciudades mundiales en riesgo de crisis hídrica vendrían a estar en zonas con mucha mayor disponibilidad de recursos que la costa del sureste peninsular.

Esta comparación puede ayudarnos a matizar el concepto de “escasez de recursos hídricos” y, sobre todo, a reflexionar sobre la idea de resiliencia que describe este documento. En este contexto, resulta de especial relevancia revisar la estrategia que ha asegurado la sostenibilidad hídrica en Alicante durante las últimas décadas. Esta se asienta en varios aspectos, a saber:

- Diversificación de las fuentes de suministro (agua superficial, subterránea, desalación).
- Eficiencia en el uso de los recursos hídricos, basada a su vez en la disminución continuada de pérdidas, las mejoras en la medición y la concienciación ciudadana.

- Gestión de la demanda, que permite comprender y predecir los factores que afectan al consumo.
- Apuesta decidida por la reutilización para uso urbano y agrícola, que ha permitido además mejorar el entorno de la ciudad a través del crecimiento de las zonas verdes con un coste mucho menor al de otras infraestructuras hidráulicas.

Conviene destacar dos consideraciones que resumen aspectos fundamentales del caso descrito:

- No existe, usando la expresión inglesa, la “bala de plata” para garantizar el suministro urbano; la aproximación debe ser en todo momento múltiple, e incluso los objetivos más concretos, como la mejora de la eficiencia, se alcanzan mediante una amplia batería de medidas (sectorización, búsqueda de fugas, automatización, renovación de infraestructuras...).
- La resiliencia en la gestión de los recursos hídricos es una carrera de larga distancia; el éxito de la ciudad de Alicante hasta la fecha de hoy se basa en una larga historia de adaptación a un contexto de escasez, en la que las estrategias se han adaptado de forma continua y progresiva. Se podría decir que el pasado de carestía hídrica propia del sureste español ha proporcionado, paradójicamente, una ventaja a la hora de afrontar el reto que supone el cambio climático.

La cifra de precipitaciones anuales en la ciudad de Alicante antes mencionada también puede servir de referencia para resumir el carácter extremo de los episodios de lluvias torrenciales, si la comparamos con los 270 mm recogidos en el observatorio de Ciudad Jardín o incluso con los 137 mm de marzo de 2017.

Si bien es cierto que en este caso hay también antecedentes históricos, no se puede hablar de grandes actuaciones en el drenaje urbano antes del año 1997. Sin embargo, a partir de esta fecha se suceden varios planes que, de forma coherente, abordan el reto de la evacuación del agua de lluvia:

- Plan Antirriadas de la Generalitat Valenciana.
- Actuaciones complementarias del Plan contra Inundaciones, del Ayuntamiento de Alicante.
- Plan Especial de Inversiones de Aguas Municipalizadas de Alicante, incluyendo el depósito anticontaminación José Manuel Obrero y el parque inundable La Marjal.

- Obras de inversión ordinaria y de renovación de redes, de Aguas de Alicante.

De nuevo, hemos de destacar el abordaje del problema desde múltiples facetas; ninguna de estas actuaciones hubiera servido por sí sola para resolver el riesgo de inundación. El refuerzo de la red secundaria de drenaje no es ni más ni menos importante que la ejecución de grandes colectores, ya que sin aquella el agua no se recoge ni llega a los mismos; y estos son obviamente necesarios para dar salida al gran volumen de agua captado. Por otra parte, ninguna de las anteriores hubiera sido suficiente en el caso de playa de San Juan sin la ejecución del parque inundable. Además, las técnicas de gestión avanzada (modelización, sensorización, sistemas de ayuda a la renovación del alcantarillado, sistemas de alerta temprana, etc.) son un complemento imprescindible a las infraestructuras.

Aunque en un periodo de tiempo más corto que el referido a los recursos hídricos, también aquí ha sido clave la continuidad en la implementación de las estrategias contra el riesgo de inundación; los últimos veinte años han visto una evolución constante y sostenida del drenaje de la ciudad, cuyo más reciente hito podría ser el parque de La Marjal.

Esta última actuación anticipa la orientación que tomarán, con toda probabilidad, los sistemas de drenaje urbano sostenible en las próximas décadas, siguiendo también el modelo de otros países. Los ejemplos de prioridades e iniciativas en diferentes ciudades de todo el mundo pueden ayudarnos, sin duda, a la hora de desarrollar respuestas adaptadas a nuestra realidad. Sin abandonar la ejecución de otras infraestructuras necesarias —tampoco aquí existen las soluciones mágicas— adquirirán, sin duda, importancia creciente y, como en el caso del agua reutilizada para usos urbanos, contribuirán a cambiar el perfil de la ciudad, mejorándolo. Esa alianza triple entre resiliencia, sostenibilidad y calidad de vida parecen, sin duda, el camino a seguir ante los retos que nos plantea el cambio climático.

6. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Tablas

Tabla 1. Cambios en las variables climáticas de las regiones del Mediterráneo español (horizonte 2100).....	21
Tabla 2. Incremento de temperatura en las aguas del Mediterráneo occidental frente a la Comunidad Valenciana (1985-2007).....	22
Tabla 3. Síntesis de los efectos del calentamiento térmico en las regiones del Mediterráneo español a efectos de planificación del agua en las áreas urbanas.....	26
Tabla 4. Retos de la planificación urbana del agua en el litoral mediterráneo.....	27
Tabla 5. Comparación de los costes de tratamiento en el ciclo urbano del agua.....	41
Tabla 6. Episodios de lluvias intensas con efectos de inundación en la ciudad y término municipal de Alicante en los siglos XX y XXI.....	53
Tabla 7. Valores de lluvia intensa registrados en el observatorio de Alicante (Ciudad Jardín), durante el episodio del 13 de marzo de 2017	74

Figuras

Figura 1. Precipitación diaria en Alicante (1940-2016).....	15
Figura 2. Gráfico de lluvias en Alicante (20 precipitaciones más intensas).....	18
Figura 3. Cambio en las precipitaciones intensas. Alicante (2000-2100)	19
Figura 4. Cambios en los patrones estacionales de precipitación en la península Ibérica en 1976-2005 (inferior), respecto al periodo 1946-1975 (superior).....	23
Figura 5. Cambios en los patrones territoriales de precipitación en la demarcación hidrográfica del Júcar (1958-2010)	24

Figura 6. Evolución de las precipitaciones en la Comunidad Valenciana (horizonte 2100).....	25
Figura 7. Evolución de los recursos hídricos procedentes de desalación en el sistema de abastecimiento de la Mancomunidad de Canales del Taibilla, durante el periodo 2003-2015.....	29
Figura 8. Actuaciones técnicas y comerciales destinadas a la reducción del ANR	32
Figura 9. Evolución de la dotación de agua suministrada y número de contratos 1991-2016	33
Figura 10. Evolución del agua suministrada 1991-2016	34
Figura 11. Rendimiento técnico hidráulico en Alicante y por comunidades autónomas	34
Figura 12. Rendimiento técnico hidráulico por zonas geográficas y edad media de la red	35
Figura 13. Rendimiento técnico hidráulico por zonas geográficas y edad media de los contadores.....	35
Figura 14. Doble Red Urbana para la Reutilización de aguas (DRUR) en Alicante.....	37
Figura 15. Evolución del uso urbano de agua regenerada y crecimiento de zonas verdes	38
Figura 16. Mapa de la evolución urbana de la ciudad de Alicante, hasta el siglo XVIII	47
Figura 17. Plano de las actuaciones del Plan Antirriadas	57
Figura 18. Plano de las actuaciones realizadas zona casco urbano. Obras complementarias.....	58
Figura 19. Red de drenaje en 1997 y 2017	61
Figura 20. Pluviograma de la precipitación recogida en el Observatorio Meteorológico de Ciudad Jardín el día 20 de octubre de 1982	63

Figura 21. Pluviograma de la precipitación recogida en el Observatorio Meteorológico de Ciudad Jardín el día 30 de septiembre de 1997	63
Figura 22. Curvas IDF propias de la ciudad de Alicante, obtenidas a partir del estudio estadístico basado en los datos reales del Observatorio Meteorológico de Ciudad Jardín en el periodo 1938-2003	64
Figura 23. Distribución espacial de pluviómetros (en color verde) y limnómetros (en color rojo) en la ciudad de Alicante e isla de Tabarca...	65
Figura 24. Esquema del depósito anticontaminación José Manuel Obrero ..	69
Figura 25. Esquema del parque inundable La Marjal (playa de San Juan, Alicante) en su estado habitual y en caso de retención de lluvias.....	71
Figura 26. Gráfico de intensidad horaria de la lluvia acumulada en el observatorio de Alicante (Ciudad Jardín) durante el episodio de lluvias intensas de 13 de marzo de 2017	75

Imágenes

Imagen 1. Construcción de depósitos pluviales bajo un área recreativa (parque público) en Rotterdam	11
Imagen 2. Efecto urbano de isla de calor. Impacto de las zonas verdes en su mitigación	39
Imagen 3. Parque del Palmeral, Alicante	43
Imagen 4. Reformas en Alicante para el siglo XX. José Guardiola Picó	51
Imagen 5. Efectos de la crecida del barranco urbano de San Agustín-San Blas en el barrio de San Blas (Alicante), durante la riada de 20 de octubre de 1982	52
Imagen 6. Efectos del desbordamiento del barranco urbano de San Agustín-San Blas en su tramo final en la avenida de Óscar Esplá, estación de ferrocarril de Benalúa y CN-340, durante la riada de 30 de septiembre de 1997	54
Imagen 7. Sustitución colector general Tramo I - Hincia Ø2500 bajo Gran Vía.....	59

Imagen 8. Canalización alcantarillado de la calle Fernando Madroñal- conexión con colector vía Parque.....	59
Imagen 9. Depósito anticontaminación José Manuel Obrero en funcionamiento tras un episodio de lluvias intensas sobre la ciudad de Alicante	70
Imagen 10. Vista general del parque inundable La Marjal (playa de San Juan, Alicante).....	71
Imagen 11. Efectos de llenado con 15.000 m ³ del parque inundable La Marjal con ocasión del episodio de lluvias intensas del 13 de marzo de 2017	72
Imagen 12. Monasterio y plaza de la Santa Faz (Alicante), situado junto al cauce del barranco del Juncaret. Episodio de lluvias intensas de 13 de marzo de 2017	77
Imagen 13. Ejemplos de SUDS	79
Imagen 14. Propuesta de ciudad verde del futuro según ARUP	81

La fuente de las ilustraciones es AMAEM para todos los casos en los que no se especifica de otro modo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AEMA (2012). *Los impactos del cambio climático en Europa: evaluación basada en indicadores*. Informe conjunto de la AEMA, CCI y OMS. Oficina de Publicaciones de la CE y Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid, 240 pp.
- AEMET (2015). *Proyecciones climáticas para el siglo XXI en España*. Disponible en: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat
- Andrés-Doménech, J.; Hernández-Crespo, C.; Martín, M. y Andrés-Valeri, V. C. (2018). "Characterization of wash-off from urban impervious surface and SUDS design criteria for source control under semi-arid conditions". *Science of the Total Environment*, 612, pp. 1320-1328.
- Arahuetes, A. (2017). *Los recursos no convencionales en el metabolismo hídrico del litoral de la provincia de Alicante*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante (inérita).
- Arnbjerg-nielsen, K.; Willems, P.; Olsson, J.; Beecham, S.; Pathirana, A.; Grgerssen, I. B.; Madsen, H. y Nguyen, V. T. V. (2013). "Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review". *Water Sci Technol.*, 68(1), pp. 16-28.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2000). "La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30 (monográfico sobre "Riesgos Naturales"), pp. 37-49.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2002). "El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso español y sus alternativas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 33, pp. 79-92.
- Baños Castiñeira, C. J.; Vera Rebollo, J. F. y Díez Santo, D. (2010). "El abastecimiento de agua en los espacios y destinos turísticos de Alicante y Murcia". *Investigaciones Geográficas*, 51, pp. 81-105.
- Barredo, J. I.; Saurí, D. y Llasat, M. C. (2012). "Assessing trends in insured losses from floods in Spain 1971-2008". *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(5), pp. 1723-1729.

- Barton, J. e Irarrázabal, F. (2016). "Adaptación al cambio climático y gestión de riesgos naturales: buscando síntesis en la planificación urbana". *Revista de Geografía de Norte Grande*, 63, pp. 87-110.
- Burriel, E. L. (2009). "Los límites del planeamiento urbanístico municipal. El ejemplo valenciano", *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 54, pp. 33-54.
- Butler, D. y Davies, J. W. (2000). *Urban drainage*. London, UK: E & FN Spon, 624 pp.
- Calvo García-Tornel, F. (2001). *Sociedades y territorios en riesgo*. Barcelona, Ediciones del Serbal, colección "La Estrella Polar", 31, Barcelona, 186 pp.
- Castro-Fresno, D.; Andrés-Valeri, V. C.; Sañudo-Fontaneda, L. A. y Rodríguez-Hernández, J. (2013). "Sustainable Drainage Practices in Spain, specially focused on pervious pavements". *Water*, 5, pp. 67-93.
- CIRIA (2000). *Sustainable Urban Drainage Systems – Design Manual for Scotland and Northern Ireland, CIRIA C521 and Sustainable Urban Drainage Systems – Design Manual for England and Wales, CIRIA C522*.
- Connolly, R. y Connolly, M. (2014). "Urbanization bias I. Is it a negligible problem for global temperature estimates?" *Open Peer Rev. J.*, 28 (Clim. Sci.), URL: <http://oprj.net/articles/climate-science/28>
- Consorcio de Compensación de Seguros (2016). *Estadística de Riesgos Extraordinarios. Serie 1971-2016*. Madrid, 147 pp.
- Consorcio de Compensación de Seguros (2017). *Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones*. Madrid, MAGRAMA, MINECO y Consorcio de Compensación de Seguros, 103 pp.
- Elorrieta Sanz, B.; Olcina Cantos, J. y Sánchez Aguilera, M^a D. (2016). "La sostenibilidad en la planificación territorial de escala regional en España: estudio de casos", *Cuadernos Geográficos*, 55(1), pp. 149-175.
- ESPON Climate (2011). *Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies. Main Report*. Available at: http://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/AppliedResearch/CLIMATE/ESPON_Climate_Final_Report-Part_B-MainReport.pdf.

- Fernández, A. E.; Perales, S. y Domenech, I. (2008). "Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana". *IX Simposio de Hidrogeología. AEH-IGME*, At Elche, 1.
- Gil Olcina, A. y Olcina Cantos, J. (2017). *Tratado de climatología*. Alicante. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 945 pp.
- Gil-Guirado, S.; Pérez, A. y Barriendos, M. (2014). "Increasing vulnerability to flooding in the southern Spanish Mediterranean coast (1960-2013)", *Hydrological Extreme events in historic and prehistoric times*, Bonn (Alemania). En <http://bit.ly/1tmAbNm>
- González García, J. L. (ed.) (2009). *Mapas de riesgos naturales en la ordenación urbanística*. Madrid. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. 101 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014). *Climate Change 2013 and Climate Change 2014*. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/>
- JRC (2009). *The PESETA project. Impact on climate change in Europe*. European Commission. Disponible en <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/>
- JRC (2017). *Atlas of the Human Planet 2017. Global Exposure to Natural Hazards*. European Commission. DG Join Research Center. Ispra, 92 pp.
- March, H.; Hernández, M. y Saurí, D. (2015). "Percepción de recursos convencionales y no convencionales en áreas sujetas a estrés hídrico: el caso de Alicante", *Revista de Geografía Norte Grande*, 60, pp. 153-172.
- Marcos-García, P. y Pulido-Velázquez, M. (2017). "Cambio climático y planificación hidrológica: ¿Es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación?", *Ingeniería del Agua*, 21(1), pp. 35-52.
- Melgarejo-Moreno, J. y López-Ortiz, M. I. (2016). "Depuración y reutilización de aguas en España". *Agua y Territorio*, 8, pp. 22-35, julio-diciembre 2016, Universidad de Jaén.
- Ministerio de Vivienda y Colegio Oficial De Geólogos (2008). *Riesgos Naturales. Guía Metodológica para la elaboración de cartografías en España*. Madrid, 176 pp.

Monjo, R. y Martín-Vide J. (2016). "Daily precipitation concentration around the world according to several indices", *International Journal of Climatology*. doi:10.1002/joc.4596.

Observatorio de la Sostenibilidad de España (2012). *Atlas de la sostenibilidad en España*. Alcalá de Henares. Observatorio de la Sostenibilidad en España, Ministerio de Medio Ambiente.

Olcina Cantos, J. (2007). *Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en España*. Murcia, Instituto Euromediterráneo del Agua, 381 pp.

Olcina Cantos, J. (2009). "Hacia una ordenación sostenible de los territorios de riesgo en Europa", en Farinós, J.; Romero, J. y Salom, J. (eds.), *Cohesión e inteligencia territorial. Dinámicas y procesos para una mejor planificación y toma de decisiones*, Publicaciones de la Universitat de Valencia, Valencia, pp. 153-182.

Olcina Cantos, J. (2013). "Experiences in adapting to Climate Change and Climate Risk in Spain", en *Climate Change Adaptation in practice: from strategy development to implementation* (Philipp Schmidt-Thome y Johannes Klein, eds.), Wiley-Blackwell, pp. 253-268.

Olcina Cantos, J. y Díez-Herrero, A. (2017). "Cartografía de inundaciones en España", *Estudios Geográficos*, 78(282), pp. 283-315.

Olcina Cantos, J.; Hernández Hernández, M.; Rico Amorós, A. M. y Martínez Ibarra, E. (2010). "Increased risk of flooding on the coast of Alicante (Region of Valencia, Spain)", *Natural Hazards*, 10(11), pp. 2229-2234.

Olcina Cantos, J.; Baños Castiñeira, C. y Rico Amorós, A. M. (2016). "Medidas de adaptación al riesgo de sequía en el sector hotelero de Benidorm (Alicante, España)", *Revista de Geografía Norte Grande*, 65, pp. 129-153.

Olcina Cantos, J. y Rullán Salamanca, O. (2017). "Consecuencias ambientales de la actividad económica", en *Geografía Humana de España* / Romero, J. (coord.), Ed. Tirant Lo Blanch, pp. 526-641.

Olcina Cantos, J. y Vera-Rebollo, J. F. (2016b). "Climate change and tourism policy in Spain: Diagnosis in the Spanish mediterranean coast", *Cuadernos de Turismo de la Universidad de Murcia*, 38, pp. 565-571.

- Olcina, J.; Saurí, D.; Hernández, M. y Ribas, A. (2016). "Flood policy in Spain: a review for the period 1983-2013", *Disaster Prevention and Management: an International Journal*, 25(1), pp. 41-58.
- Olcina, J., Morote, A. y Hernández, M. (2018). "Evaluación de los riesgos naturales en las políticas de ordenación urbana de los municipios de la provincia de Alicante. Legislación y cartografía de riesgo", *Cuadernos Geográficos de Granada* (en prensa).
- Organización Mundial de la Salud - WHO Regional Office for Europe (2016). *Urban green spaces and health. A review of evidence*, pp. 9-11.
- Paneque, P. (2015). "Drought management strategies in Spain", *Water*, 7, pp. 6689-6701.
- Pastor, F., Valiente, J. A. y Palau, J. L. (2017). "Sea surface temperature in the Mediterranean climatology, trends and spatial patterns" cartel presentado en *10th Hymex Workshop in Barcelona* (4-7 July 2017), <http://www.ceam.es/VERSUS/publications.html>
- Perales-Momparler, S.; Andrés-Doménech, I.; Hernández-Crespo, C.; Vallés-Morán, F.; Martín, M.; Escuder-Bueno, I. y Andre, J. (2017). "The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a study in the valencian region, Spain". *Journal of Cleaner Production*, 163, pp. S113-S124.
- Pérez Morales, A.; Gil-Guirado, S. y Olcina-Cantos, J. (2015). "Housing bubbles and the increase of flood exposure. Failures in flood risk management on the Spanish south-eastern coast (1975-2013)", *Journal of Flood Risk Management* (DOI: 10.1111/jfr3.12207), pp. 1-12.
- Perles Roselló, M. J. y Cantarero Prados, F. (2010). "Problemas y retos en el análisis de los riesgo múltiples del territorio: propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 52, pp. 245-271.
- Prieto, F.; Campillos, M. y Fontcuberta, X. (2010). "Cambios en la ocupación del suelo en España 1987-2005", *Ecologista*, 65, pp. 40-43.
- Rico-Amoros, A.; Olcina-Cantos, J. y Sauri, D. (2009). "Tourist Land Use Patterns and Water Demand. Evidence from the Western Mediterranean", *Land Use Policy*, 26, pp. 493-501.

- Rodríguez-Rojas, M. I.; Cuevas Arrabal, M. M.; Moreno Escobar, B.; Martínez Montes, G. y Muñoz Ubiña, A. (2017). *Guía para la integración de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el Proyecto Urbano*. Editorial Universidad de Granada, 132 pp.
- Rougé, P. y Hernández, F. (2016). “El coste de no regenerar”. *La reutilización del agua en el marco de la economía circular*. Asociación Española de Desalación y Reutilización – Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento.
- Saurí, D.; Olcina, J.; March, H.; Martín-Vide, J.; Vera, F.; Padilla, E. y Serra-Llobet, A. (2011). “Case Study Mediterranean Coast of Spain”, en *ESPON Climate: Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies*. Applied research project 2012/1/4. Final Report. Annex 4. Disponible en: www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/AppliedResearch/CLIMATE/ESPON_Climate_Final_Report_Annex4_Spain_Case_Study.pdf.
- Saurí, D.; Olcina, J.; Vera, J. F.; Martín-Vide, J.; March, H.; Serra-Llobet, A. y Padilla, E (2013). “Tourism, climate change and water resources: coastal Mediterranean Spain as an example”. en Schmidt-Thome, Philip y Greiving, Stefan (coords.), *European Climate Vulnerabilities and Adaptation: A Spatial Planning Perspective*, Willey, pp. 231-252.
- Schmidt-Thomé, P. (ed.) (2005). *The spatial effects and management of natural and technological hazards in Europe*. Luxemburgo. ESPON (thematic project 1.3.1.) (disponible en: www.espon.eu)
- Serrano Notivoli, R. (2017). *Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: ensayo metodológico y aplicaciones*. Tesis doctoral, inédita. Universidad de Zaragoza. Facultad de Filosofía y Letras. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Zaragoza, 234 pp. + anexo cartográfico.
- Shaltout, M. y Anders, O. (2014). “Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea”, *Oceanologia*, 56(3), pp. 411-443.
- Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge. Cambridge University Press.

- Vargas, J. y Paneque, P. (2017). "Methodology for the analysis of causes of drought vulnerability on the River Basin scale", *Natural Hazards*, 13 pp. DOI: 10.1007/s11069-017-2982-4
- Vera Rebollo, J. F. (2006). "Agua y modelos de desarrollo turístico: la necesidad de nuevos criterios para la gestión de los recursos", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 42, pp. 155-178.
- Vera Rebollo, J. F. y Rodríguez Sánchez, I. (eds.) (2012). *Renovación y reestructuración de destinos turísticos en áreas costeras*, Valencia, Publicaciones de la Universitat de València, 429 pp.
- Villar-García, A. (2016). "Reutilización de aguas regeneradas: aproximación a los costes de producción y valoración de su uso". *Agua y Territorio*, 8, pp. 70-79, julio-diciembre 2016, Universidad de Jaén.
- World Meteorological Organization, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (Cred) & Université Catholique de Louvain (2014). *Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes 1970-2012*. Geneva, Switzerland: WMO.
- Wood-Ballard, B.; Kellagher, R.; Martin, R.; Jeffenes, C.; Bray, R. y Sheffer, P. (2007). *The SuDS Manual*. CIRIA C697. London.

AUTORES**JORGE OLCINA CANTOS**

Catedrático de Análisis Geográfico Regional en la Universidad de Alicante y responsable del Instituto de Climatología de la Universidad de Alicante. Actualmente, presidente de Asociación de Geógrafos de España

ANDRÉS CAMPOS ROSIQUE

Ingeniero de Proyectos de Oficina Técnica, Aguas de Alicante

IGNACIO CASALS DEL BUSTO

Responsable de I+D+i de Aguas de Alicante

JUAN AYANZ LÓPEZ-CUERVO

Responsable de Producción de Aguas de Alicante

MIGUEL RODRÍGUEZ MATEOS

Director de Operaciones de Aguas de Alicante

MONTSE MARTÍNEZ PUENTES

Responsable de I+D+i de la Dirección de Drenaje Urbano de Suez Advanced Solutions



NOTAS



www.fundacionaquae.org

NOTAS

AQUAe

PAPERS

AQUAe
FUNDACIÓN

Nº 8

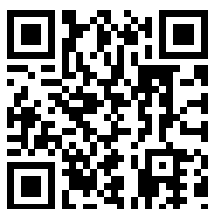
JUNE 2018

8

RESILIENCE IN THE URBAN WATER CYCLE. RAINFALL EXTREMES AND ADAPTING TO CLIMATE CHANGE IN THE MEDITERRANEAN AREA

Authors: Jorge Olcina Cantos, Andrés Campos Rosique, Ignacio Casals del Busto, Juan Ayanz López-Cuervo, Miguel Rodríguez Mateos, Montse Martínez Puentes

Other collaborators: Joaquín Marco Terres, Agustín Plaza Martínez, José Ramón Moya Botella, Luis Cutillas Lozano



In collaboration with:



Colegio de
Economistas
de Madrid



RESILIENCE IN THE URBAN WATER CYCLE

Rainfall extremes and adapting to climate change in the Mediterranean Area

Authors:

- Jorge Olcina Cantos, Professor of Regional Geographical Analysis at the *Universidad de Alicante* and Head of the *Universidad de Alicante* Climate Institute. Currently Chairman of the Spanish Association of Geographers
- Andrés Campos Rosique, Technical Office Project Engineer, (*Aguas de Alicante*)
- Ignacio Casals del Busto, R&D&I Manager (*Aguas de Alicante*)
- Juan Ayanz Lopez-Cuervo, Production Manager (*Aguas de Alicante*).
- Miguel Rodríguez Mateos, Operations Manager (*Aguas de Alicante*).
- Montse Martínez Puentes, R&D&I Manager of the Urban Drainage Directorate (Suez Advanced Solutions)

Other collaborators:

- Joaquín Marco Terres, Operations Manager of Suez in the Autonomous Region of Valencia
- Agustín Plaza Martínez, Hydrogeologist (*Aguas de Alicante*)
- José Ramón Moya Botella, Head of Maintenance, Network Management and Reused Water (*Aguas de Alicante*)
- Luis Cutillas Lozano, Sanitation Operation Technician (*Aguas de Alicante*)

1. INTRODUCTION: CLIMATE, CLIMATE CHANGE, WATER AND URBAN RESILIENCE	103
2. MEDITERRANEAN CLIMATE, A VERY COMFORTABLE CLIMATE BUT WITH EXTREME RAINFALL	111
2.1. DROUGHTS AND WATER SUPPLIES	113
2.2. EXTREME RAINY PERIODS IN MEDITERRANEAN CLIMATE	114
2.3. EFFECTS OF CLIMATE CHANGE	117
2.4. CHALLENGES FOR THE URBAN WATER CYCLE	124
3. WATER RESOURCES	125
3.1. BACKGROUND TO WATER SUPPLY FOR ALICANTE	125
3.2. SUPPLY GUARANTEES	128
3.2.1. Evolution and Combination of Supply Sources	128
3.2.2. Efficiency in the use of water resources	129
3.3. WATER REUSE FOR URBAN PURPOSES IN ALICANTE	134
3.3.1. Developing the double network of reused water	134
3.3.2. Impact of regenerated water on the urban environment	136
3.3.3. Economic context of water reuse	138
3.3.4. Success factors	140
4. URBAN DRAINAGE	142
4.1. BACKGROUND. URBAN EVOLUTION OF ALICANTE: A PROCESS OF GRADUAL “ABSORPTION” OF GULLIES IN ITS URBAN SECTION	143
4.2. ORIGINS AND DEVELOPMENT OF THE ALICANTE DRAINAGE NETWORK	146
4.2.1. First historic activities taken on the drainage	147
4.2.2. The growth of the Port of Alicante and its impact on urban drainage	148
4.2.3. The Architect José Guardiola’s Plan	148
4.3. RECENT HISTORY AND SINGULAR INCIDENTS	150
4.4. THE PARADIGM CHANGE: FROM THE HYGIENIST VIEW TO FLOOD PROTECTION AND OPTING FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY	153
4.4.1. The Flood Prevention Scheme for the City of Alicante	154
4.4.2. Actions in addition to the Flood Prevention Scheme for Alicante	155
4.4.3. Advanced management of the urban drainage	159

4.4.4. Singular actions: the José Manuel Obrero anti-pollution tank and the La Marjal Flood Park	165
4.4.5. Flood risk diagnosis for the City of Alicante: the very rainy spell on 13 th March 2017.	170
4.5. FUTURE URBAN DRAINAGE CHALLENGES. URBAN SUSTAINABLE DRAINAGE SYSTEMS AS MEASURES FOR ADAPTING TO CLIMATE CHANGE	174
5. CONCLUSIONS	179
6. INDEX OF ILLUSTRATIONS	182
7. BIBLIOGRAPHY	186
AUTHORS	193

1. INTRODUCTION: CLIMATE, CLIMATE CHANGE, WATER AND URBAN RESILIENCE

Climate change, the rainfall extremes that come with it and which have already begun to appear, has become the main course of action in water management in urban zones. Adapting supply and flood evacuation infrastructures to the new climate situation that has been estimated for the Mediterranean climate areas is essential if one wishes to enable cities to increase their resilience and to be able to withstand environmental conditions in the immediate future. Over the past two decades, the City of Alicante, on the shores of the Spanish Mediterranean, has taken a series of actions aimed at reducing water risks and thus prepare itself for the climate change scenario. This work analyses the underlying causes of the kind of climate hazard associated with extreme rainfall in the Mediterranean world, highlighting Alicante as an example of an area with a high level of climate risks and climate change, due to the high levels of vulnerability and exposure. Past and present solutions are examined that have been taken to reduce the negative impact of floods and droughts, through a detailed analysis of the actions carried out in the urban environment. Some of these actions have been taken throughout time, and range from those that are merely structural to those based upon landscaping and improving urban resilience, by incorporating the principles of environmental and territorial sustainability, as well as the principle of social responsibility that have all guided the activities of the company that manages the whole water cycle in the City of Alicante. This has all been done within a framework of good codes of practice that can serve as an example for Mediterranean urban environments with similar climatic, environmental and territorial problems.

In 2018, over half the world's population live in cities. In Europe, this percentage is as high as 75%. The percentage of people living in cities will rise to 75% in the next three decades. The Earth has become a geographical area dominated by cities. The transformation has been swift and devastating in the last 50 years. Until midway through the last century, rural areas were predominant in the processes of territorial transformation, but this role has now been taken over by cities. This change has undoubtedly brought about many improvements for mankind, but has also taken its toll on the health of the surface of the planet. One of these effects, and certainly the most outstanding one, has been the pollution of the atmosphere with gases emitted by the burning of fossil. It has been demonstrated that this has a direct impact on the current global warming process. Climate change owing to the greenhouse effect is now undeniably a scientific fact that is causing changes

in the usual climate conditions in the different regions of the world. The Mediterranean Region, whose climate is generally and healthy, sometime experiences extraordinary spells that affect the lives and economic circumstances of its inhabitants. Since the distant past, floods and droughts have been the most frequent hazardous atmospheric phenomena in the Mediterranean Area, and these have forced humans to adapt their economic activities and urban centres to these extreme climate conditions.

Coexistence with floods and droughts in the Mediterranean has undergone changes throughout history. Adapting land use and cities to these climate hazards, which was the usual approach adopted by rural societies revolving around agriculture, was replaced by attempts by Mediterranean societies to dominate nature, all this being prompted by scientific progress and technical breakthroughs. This attitude to the environment, which was predominant until the turn of the century, had a major impact on the land. As from 1992, at the environmental summit held in Rio de Janeiro, a new approach is being made to the relationship between humans and nature, with a decision being taken to make sustainability the main criterion to be taken into account where environmental activities are concerned.

There now has to be close collaboration between activities of a structural nature and the proposals for environmental and territorial sustainability regarding actions taken to mitigate and/or adapt to the main atmospheric extremes that affect the Mediterranean world. This is particularly the case in urban areas, where structural actions have gradually been having less impact on the land and adapting to the new development principles that are consist with the potential of the environment and its features.

As a result, there has been a move away from channelling riverbeds or constructing water transfer systems towards taking basic actions to reduce the risk of flooding and drought in Mediterranean urban environments, developing flood parks, river restoration, rainwater tanks or adapting urban design to those extreme atmospheric phenomena, as examples of good and sustainable adaptation practices aimed at minimising the consequences of such risks.

And climate in the future, in the current context of global warming, is only going to increase the uncertainty surrounding the way the main climate elements in the Mediterranean Area are going to react. To begin with, it must be pointed out that a hotter atmosphere is invariably an atmosphere of more energetic and contracted air mass movements, in search of a theoretical equilibrium within the global and/or regional energy balance system. So the

global warming that has been recorded over the past three decades is conducive to quicker and sharper weather change developments and to increasingly frequent extreme events. This can already be seen in the synoptic sequences that are being recorded in our country (Gil Olcina and Olcina Cantos, 2017). Climate change models also agree that the areas with a Mediterranean climate are very likely to experience the following alterations in the next few decades:

- A rise in the maximum temperature, which will affect not only the daily maximum temperatures but also the nightly minimums. It is a proven fact that the Spanish Mediterranean coastline is increasingly experiencing the major temperature rises of the so-called “tropical nights” (temperature above 20 °C) with their great discomfort and from 1980 their frequency has increased threefold; we now have 70 hot nights of this type per year. All in all, we are now witnessing a loss of “climate comfort” that could become more accentuated in the coming decades.
- More pronounced irregularities in rainfall and a general trend towards a drop in the annual values. Furthermore, this has been proved with the rainfall data from the climate series on the Spanish Mediterranean Coast. There are two aspects of interest when it comes to adapting cities to climate change as a result of these changes in precipitations: it is raining less in the upper reaches of the rivers whose sources are in the Cordillera Ibérica (Jucar, Turia and Tajo) and this flow-rate reduction in the upper reaches is most notable in spring, which is basically other season for planning water use in the summer months (irrigation and tourism). And secondly, the total amount of “torrential” rain that is so characteristic of autumn in the Mediterranean area, is becoming less and less abundant, yet the downpours are heavier per hour, i.e., enormous amounts of water (over 200 mm) are not needed to cause flooding problems in urban areas, an occurrence that was frequent in the seventies, eighties and nineties. Nowadays, rain ranging from 50 to 75 mm falling in only an hour is sufficient to cause flooding, so it is necessary to take a new look at the designs required for urban rainwater evacuation systems so that they can adapt to this new way of raining.
- The Mediterranean Sea, our main sign of geographical and cultural identity in the regions and countries bordering on this Sea, is undergoing rapid changes that are also going to affect the climate in the future in the States with Mediterranean borders. The most outstanding change is the

increase in the temperature of the Sea's surface that has been recorded since 1980. This has been taking place at an average of 1 °C throughout the Mediterranean's Western Basin, although there are zones where there has been a rise of 2 °C in just over three decades. This increase can be perceived especially in spring and autumn, because the seawater remains as warm or very warm in these two seasons as it is in summer. So the potentially unstable conditions (warm seawater) last for more months in the year, and this phenomenon is more likely to lead to spells of heavy rain for a longer period. So that the calendar of torrential rainfall on the Spanish Mediterranean coast is no longer limited to autumn, but can also occur in spring, at the end of autumn or at the start of winter, as well as in the summer months, whenever the atmospheric conditions are conducive to such spells occurring.

The Mediterranean regions must now adapt to these three aspects of Mediterranean climate change, which already existed but will tend to get worse in the coming decades. This adaptation is particularly important in the urban areas, which are the zones where vulnerability is higher (population and economic activities) and where there will be greater exposure to spells of extreme weather conditions.

Adapting cities to climate change is not a question that affects our country in particular and neither is it specific to the Mediterranean shores of the Spanish Mediterranean, given the special climate conditions now and in the future, it is a phenomenon that affects the whole planet. However, it must be admitted by the Authorities and citizens alike, that it is a matter that has to be addressed immediately and measures must be taken to increase resistance and resilience in the urban areas of the Spanish Mediterranean, owing to their great vulnerability and exposure to the main atmospheric extremes (flooding and drought) and the ways that these risks might develop within the context of global warming. Although it is true that many actions have already been taken in this sense in the cities in the Spanish Mediterranean, there is still a lot of work to be done.

With a view to this, good codes of practice are being applied to reduce the effects of extreme weather conditions and climate change, in general, in other parts of the world, which could serve as examples to be followed on the Spanish Mediterranean coast. They are activities that combine low-impact civil works and adapting the urban areas by adopting landscaping criteria, while at the same time taking effective land planning measures incorporated into the urban planning documents.

Some examples are of great interest, such as the passing of the “Green Roof Law” in Copenhagen or Antwerp; the construction of stilt houses in New Orleans to prevent such disasters as Hurricane Katrina in 2005; building a multi-purpose floating pavilion in Rotterdam to withstand the rivers bursting their banks and heightening dikes to protect any polders that could be affected by the combined action of flooding and waves in the coastal zones of different areas of the Netherlands¹; raised buildings in Helsinki, within the framework of the “BaltCICA” Project put into practice by the countries bordering on the Baltic Sea, to adapt to climate change.

Mention must be made of the NYC Plan “A Greener Greater New York”, set in motion in 2007 because of its territorial given that it is a major megalopolis; it is the strategic plan for the city reformulated in 2011 with a 2030 time frame. The NYC Plan contains 132 initiatives and 400 specific objectives to be developed by that time frame. The Plan includes a specific section for adapting the megalopolis to climate change, as well as other aspects that involve housing, green zones, areas, water, waste, air quality and mobility. The aforementioned section features 13 mitigation and adaptation initiatives that include a 30% reduction in greenhouse-effect gas emissions by 2030, when compared to the 2005 emission, collaborating with the FEMA in updating the city flood maps for a 100-year return period, updating the construction standards, encouraging flood-protection schemes for housing in coordination with insurance companies, reducing the urban heat island, incorporating the climate change projects into an emergency and risk communication management plan for the city communities in order to improve their ability to withstand climate change and the associated weather hazards.

In 2013, the European Union gave its approval to a Climate Change Adaptation Strategy, the aim of which was to implement eight actions to make the countries in the Union more resilient to the expected climate change conditions. Three priorities have been set to implement these actions in the coming years: carrying out the activities envisaged in the Member States; improving the information about climate change so fact-based decisions can be taken; and, to give precedence to the sectors that are especially vulnerable. Within this context, the platform Climate-ADAPT brings together the information about the European projects involving adaptation to climate change that are being and have been developed in different countries now and in recent years.

¹ Vid. <http://www.climate research netherlands.nl/>

One outstanding project in adapting to climate change is the one that is being carried out in Berlin. In order to reduce the effect of the urban heat island, the capital of Germany has passed a municipal by-law to apply an indicator for the development of green zones in blocks and buildings; this indicator takes into account the volume constructed and the age of the buildings. It is known as the “Biotope Factor Area”. Developed “to greenify” the city neighbourhoods, the main aim of the “Biotope Area Factor Area” (BFA) is to guarantee that a certain percentage of a built-up area is left undeveloped and covered with vegetation. The objective of the BFA programme is to make the high building-densities in the centre of Berlin compatible with the green infrastructure development in the city.

The BFA indicator has been used as the basis to develop similar urban development programmes in Malmö, Sweden (2001) or the City of Seattle (2007). Kazmierczak & Carter (2010) have analysed a variety of initiatives that have been developed the world over in recent years whose principle is to apply “greening” indicators in urban zones to limit the effects of heat island or to improve general climate comfort in the city. These are all examples of good codes of urban development practice aimed at mitigating the potential effects of future climate change conditions, these being the ones that are yielding the best results regarding effective actions in adapting to climate change on a local level. This philosophy of increasing urban green zones is also being applied in Stuttgart and is included in the Climate-ADAPT platform initiatives as part of the municipal project to create a green ventilation corridor to reduce the effects of the urban heat island.

The climate change adaptation programme for the City of Rotterdam is of great interest because of the number of phenomena involved (rising sea level, marine encroachment, rise in the number of flood events, increase in the urban heat island and climate discomfort) and the response (structural measures and territorial planning). A “climate change adaptation strategy” has thus been devised for the city². It takes the form of a territorial planning and urban redevelopment document to adapt the city to temperature increase (creating communal gardens within blocks of buildings, green roofs, use of vegetation to cover the dikes), to sea-level rise (heightening existing dikes and constructing new ones; raising the building elevation), and to an increase in flood scenarios (rainwater tanks, rainwater sewers and natural flooding zones within the city). The plan is accompanied by the creation of

² This interesting climate change adaptation programme for the City of Rotterdam can be seen at: http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/en/100percent-climate-proof/projecten/rotterdam-climate-change-adaptation-strategy?portfolio_id=181 (Visited in August 2015).

a major “green-blue corridor”, in the form of a canal running from the River Maas to the ‘Zuiderpark’ in Rotterdam that, together with the environmental effects (green and blue zone) can be utilised as a water supply line during dry spells to make the most of the resources in the lakes in this large park so they can be used as water storage facilities for supply purposes.

Image 1. Construction of rainwater tanks beneath a recreational zone (public park) in Rotterdam



Source: Rotterdam Climate Initiative.

Some of the cities along the Spain’s Mediterranean Coast, such as Barcelona, Calvià, Marbella, Reus, Valencia, Malaga, have given their approval to local Plans or Strategies for adapting to climate change and improving urban resilience. One outstanding example is the construction of rainwater tanks in the “*Ensanche*” in Barcelona to limit the impact of flooding on the city. However, it is surprising to find that there are not many such examples in the tourist municipalities in this part of Spain. By contrast, there are many cases in the Basque Country, where numerous municipalities have drawn up specific plans of action, passed by-laws and have already implemented specific measures in recent years (e.g. in Bilbao, Balmaseda, Hondarribia, Areatza, Tolosa, Durango, Amurrio, etc.). In fact, the Basque Government itself has prepared an urban planning manual (2012) which urges the municipalities to apply measures to take action and adapt to climate change.

In recent years, the Spanish Federation of Municipalities and Provinces has developed a series of initiatives to encourage local action in matters concerning combating and adapting to climate change. Since 2009, the aforementioned Spanish Network of Cities for Climate, has followed the development of annual reports on “Local Policies combating climate change”, prepared an informative document on “Climate change vulnerability on a local level” (2010)³ and drawn up a “Guide to the drafting of local regulations to combat climate change” (2012)⁴, containing guidelines for preparing and implementing municipal by-laws for the sectors associated with the mitigation of and adaptation to climate change (energy, transport, waste, water, housing, urban planning, participation and taxation).

Furthermore, the company responsible for urban implementation in the sectors that depend on water for development and expansion has devised a series of strategies and measures for adapting to climate change that are well worth mentioning. The most outstanding case in point is in the tourism sector (Olcina and Vera, 2016). Since the 1990s, not only the tour-operators but also the hotel chains have been implementing a series of strategies and measure for adapting to climate change that are yielding specific results of great interest. International hotel groups are devising their own energy and water consumption-reduction strategies within the framework of general company cost-reduction policies, which have involved the modernisation of electricity and water facilities. They have clearly had positive effects on reducing hotel consumption per person and stay where these two environmental variables are concerned. Although this falls within the category of the companies’ economic profitability, this must also be given positive appraisal because of the adaptation of hotel facilities; this is an example that should be followed by smaller hotel chains or family-owned establishments, and many private tourism employers have done likewise in recent years. Basically, what they have done is to act to encourage energy and water saving in apartments and, above all, in hotel facilities, and these actions have spread to the facilities in the smaller establishments in many tourist destinations; this has happened on the Costa Brava, the Costa Dorada, Mallorca, Benidorm, the coastal area of Murcia and the Costa del Sol. In all these cases, what came first was the need to save water, as from the 1980s, and this was followed by the need to cut down on electricity consumption, especially in the last fifteen years, in view of the increase in electricity rates

3 Spanish Federation of Municipalities & Provinces (2010) *Climate change vulnerability on a local level*. Ministry of Environment and Spanish Network of Cities for Climate, Madrid, 310 p.

4 Spanish Federation of Municipalities & Provinces (2012) *Guide to the drafting of local regulations to combat climate change*, Ministry of Environment and Spanish Network of Cities for Climate, Madrid, 253 p.

and the increase in the percentage of electricity expenditure in the annual budget of hotel facilities. Furthermore, tourist destinations are often affected by a major drought event, which prompts private initiative to take action and to supplement, or even replace the activities developed by the Public Authorities. This is what happened in Benidorm, after the 1978 drought, on the Catalan Coast after the 1990-95 and 2008 droughts, on the Balearics and the Costa del Sol, as a consequence of the 1990-95 drought and on the Coast of Murcia as a result of the frequent droughts in the 1980s.

Alicante, a historical Mediterranean City, with a rapidly growing population and increased urban development in the second half of the 20th Century, is a good example of a built-up area that has felt the effects of flooding and drought throughout its history; the impacts have been aggravated in recent decades by the city's increasing vulnerability and exposure to these climate hazards. Many courses of action, both structural and territorial planning, have been taken to limit the consequences of these spells. Since the 1990s, and thanks to the actions taken jointly and in a coordinated way by the Public Authorities (regional and local) and the company Hidraqua, a policy of environmental and territorial sustainability has been implemented when it comes to devising measures for minimising the effects of flooding and drought.

This study presents the list of activities implemented in the City of Alicante to increase resilience to flooding and drought in recent decades. It is an excellent example not only of a responsible adaptation to climate change and the associated extreme weather conditions, but also of the decision to adopt environmental and territorial sustainability measures when it comes to facing up to the challenges involved in comprehensive urban water management in the 21st Century.

2. MEDITERRANEAN CLIMATE, A VERY COMFORTABLE CLIMATE BUT WITH EXTREME RAINFALL

The Mediterranean climate is one of the most comfortable types in the world. The Mediterranean climate in the marine basin of the Mediterranean Sea is generally mild, without major sudden changes in temperature, with cool winters but hardly any major cold spells and hot summers without being excessively so. The sea breeze cools down the heat and makes the atmosphere pleasant in the coastal zones.

These environmental conditions have made the territory inhabitable since time immemorial and it has been home to a variety of societies and

economic activities. Only the general lack of rainfall served as a limiting factor in the past, and made it necessary to devise ingenious ways of making the most of the available water resources. Such water behaviour has epitomised Mediterranean civilisations until the present time.

As a general rule, as the land on the Spanish Mediterranean is facing leeward of the moist flows coming from the Atlantic, it receives less rainfall from the squalls that enter from the west of the Iberian Peninsula. By contrast, the atmospheric situations that bring in winds from the Mediterranean Sea towards the land on the Peninsula -and the Balearics- are the ones that provide the largest volumes of rainfall per year.

The rainfall that is collected annually on the Spanish Mediterranean Coast gradually decreases from North to South, towards the south-east of the Iberian Peninsula (south of Alicante, most of the Region of Murcia and Almería), before increasing again in the lands of the Tropical Coast of Granada and the Costa del Sol as far as the foothills of the Strait of Gibraltar. However, the rainfall distribution shows a clear association with the presence and direction of the relief and with the layout of the coastline.

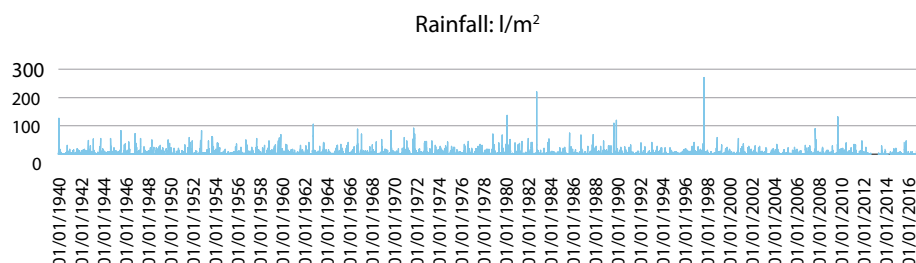
Apart from the quantity, in general not very abundant and unevenly spread throughout the year, another characteristic feature of the rainfall on the Mediterranean Peninsular façade with this climate regime is the irregularity of the rain. Intra-annual irregularity, given that the largest quantities of rain fall in the equinoctial months (Autumn and Spring) and interannual irregularity, where not very rainy years, which are the most frequent, alternate with very rainy years (1989, 2017). The latter kind is associated with the development of atmospheric circulation variability systems (North Atlantic Oscillation (NAO) and Western Mediterranean Oscillation (WeMO)).

The fact that dry and wet years alternate has a major effect on water planning in those areas, because the planning has to take into account the extremely irregular rainfall variability in order to be able to cater for the demand at all times. That accounts for why many areas, and especially in the cities on the Spanish Mediterranean Coast, have opted for a diversification in the water supply sources to prevent potential supply problems linked to the unevenness of the rainfall from one year to the next.

Droughts and periods of torrential rain are a characteristic feature of the Mediterranean climate. They are the atmospheric extremes that most frequently alter the way this climate type functions. It is a very comfortable

and very healthy climate. However, sometimes it shows its more unpleasant side, with the occurrence of meteorological hazards.

Figure 1. Daily rainfall in Alicante (1940-2016)



Source: AEMET. Ciudad Jardín Observatory. Alicante.

2.1. Droughts and water supplies

Drought sequences are a characteristic feature of the Mediterranean climate. In fact, the normal situation is one where the annual rainfall is below the normal average along the Spanish Mediterranean Coast. The Spanish Mediterranean Coast is affected by drought sequences that affect the rest of Spain, the so-called Iberian droughts, which mean drops in the rainfall levels of more than 40% in one year. Yet within this period “genuine” droughts occur, inherent to the land in the south-east of the Iberian Peninsula, which do not affect the rest of it.

Iberian droughts are caused by the frequency of anticyclones throughout the year. These conditions are not conducive to rainfall, and the amount of rain decreases considerably when compared to the normal values. “South-east” droughts that only affect the territory constituting the climate region in the south-east of the Iberian Peninsula, except when there is an anticyclone, albeit in a proportion of normal days, register many “west wind” days, i.e., when squalls and fronts pass, which after crossing the Iberian Peninsula reach this end of the territory without releasing rain.

It is interesting to note that in the very dry years that are recorded in the Spanish Mediterranean area, especially in the south-east of the Iberian Peninsula, the rainfall values recorded in a year are much lower than those that are registered, on average, in certain zones in the Sahel strip just south of the Sahara Desert. This just goes to show how severe the dry spells are

in this part of Spain in some years. For example, in Torrevieja, in the southern part of the Province of Alicante, a mere 73 mm of rain fell in 1961 and, in 1995, only 83 mm of rain were measured in Pilar de la Horadada. In the capital of the Region of Murcia, only 90 mm of rain fell in 1945.

In this geographical context, Alicante regularly suffers from the rainfall effects of periods with little rain (annual droughts and long spells of drought) in such a way that since the beginning of the 20th Century, its water supply system has had to adapt to these types of situations in order to prevent or minimise their impact.

A series of essential actions have been taken to guarantee the city water supply in the past, and these have invariably been prompted by long spells of drought in the preceding years that served as incentives to find efficient solutions that would mean the city no longer had to depend on benevolent climate situations to ensure it had enough water; these actions have included using urban wells and sources, conveying water to Alicante from the Alto Vinalopo, not to mention the connection that was made midway through the 20th Century with the Canales de Taibilla Association, without forgetting the arrival of water via the Tagus-Segura Transfer System or, more recently, the incorporation on unconventional water resources coming from water treatment and desalination. At present, it can be stated that the water supply for the City of Alicante is virtually guaranteed and the city has ceased to be dependent upon an absence of drought situations.

We are talking about efficient water management that has sought to diversify supply sources as a rational and sensible way of guaranteeing the water supply.

2.2. Extreme rainy periods in Mediterranean climate

As has already been pointed out, rainfall irregularity is a characteristic feature of Mediterranean precipitation, coupled with the fact that rainfall is concentrated in short periods of time. This is the most outstanding aspect to be considered when planning infrastructures for evacuating water in urban environments if the risk of flooding is to be reduced.

The Mediterranean Basin is, together with tropical climate zones, one of the most outstanding geographical areas in the world in registering daily and hourly precipitation intensities. In the case of tropical climates the intensity is due to the occurrence of cyclones or monsoon-type rainfall.

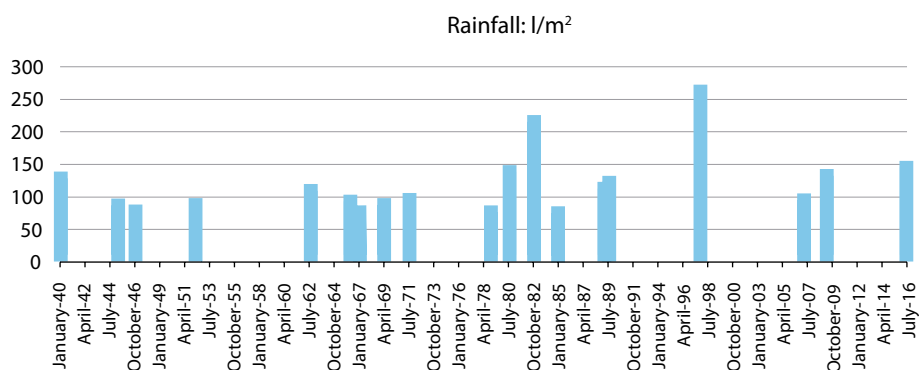
According to official rainfall records over a 24-hour period, the Spanish Mediterranean Coast has yielded record values of over 300 and 400 mm. However, there are localities where those figures have been exceeded, and have even doubled or tripled those daily rainfall volumes (See table). All of these exceptional values have occurred at times when the atmosphere has been very unstable (cold air in high layers —dry river beds, thermal inversion—). The list of extreme rainfall values involving more than 400 mm/24 h in one day includes:

- 1,121 mm in Casas del Barón (Valencia), 20th October 1982 (estimated).
- 871 mm in Jávea (Alicante), 2nd October 1957.
- 817 mm in Oliva (Valencia), 3rd November 1987.
- 790 mm in La Pobla del Duc (Valencia), 4th November 1987.
- 720 mm in Gandía (Valencia), 3rd November 1987.
- 632 mm in Bicorp (Valencia), 20th October 1982.
- 600 mm in Albuñol (Granada) and in Zurgena (Almeria), 19th October 1973.
- 536 mm in Escorca Son Torrella (Mallorca), 22nd October 1959.
- 520 mm in Tavernes de Valldigna (Valencia), 11th September 1998.
- 520 mm in Sumacarcet (Valencia), 4th November 1987.
- 500 mm in Benifairó de Valldigna (Valencia), 11th September 1996.
- 460 mm in Escorca Gorg Blau (Mallorca), 29th September 1940.
- 450 mm in Alforja (Tarragona), 10th October 1994.
- 430 mm in Cadaques (Girona), 14th October 1986.
- 426 mm in Cofrentes and Jalance (Valencia), 20th October 1982.
- 425 mm in Denia (Alicante), 3rd November 1987.
- 416 mm in Alcalalí (Alicante), 12th October 2007.
- 412 mm in Gallinera (Alicante), 7th May 1982.
- 410 mm in Alginet (Valencia), 6th November 1983.
- 409 mm in Cabo de San Antonio (Alicante), 1st October 1957.

There is one really surprising record involving maximum daily rainfall in the south-east of the Iberian Peninsula, which is the value estimated for the famous Santa Teresa Flood, which occurred on the night of 14 to 15 October 1879, the highest value for which a historic record exists in the Segura Basin, affecting the River Velez, one of the main tributaries of the Guadalquivir. More than 600 mm were measured in one hour. The highest intensity ever registered in Spain was recorded in the town of Sueca (Valencia) in a period of 2 hours and 30 minutes (296 mm, 23 September 2008). In 20 minutes, the Automatic Hydrological Information System (SAIH) station in the Valencian town of Manuel, recorded 90.6 mm on 1 August 1993. The greatest intensity ever to fall in just 1 minute in Spain was noted in Montserrat (Valencia) on 10 October 2008 (10.2 mm).

However, it is the hourly values, in the strict sense, are the rainfall data that best characterise the nature of precipitations in this climate region. There is one really surprising record involving maximum daily rainfall in the south-east of the Iberian Peninsula, which is the value estimated for the famous Santa Teresa Flood, which occurred on the night of 14 to 15 October 1879, the highest value for which a historic record exists in the Segura Basin, affecting the River Velez, one of the main tributaries of the Guadalentin. More than 600 mm were measured in one hour. The highest intensity ever registered in Spain was recorded in the town of Sueca (Valencia) in a period of 2 hours and 30 minutes (296 mm, 23 September 2008). In 20 minutes, the Automatic Hydrological Information System (SAIH) station in the Valencian town of Manuel, recorded 90.6 mm on 1 August 1993. The greatest intensity ever to fall in just 1 minute in Spain was noted in Montserrat (Valencia) on 10 October 2008 (10.2 mm).

Figure 2. Rainfall graph for Alicante (20 heaviest rainfalls)



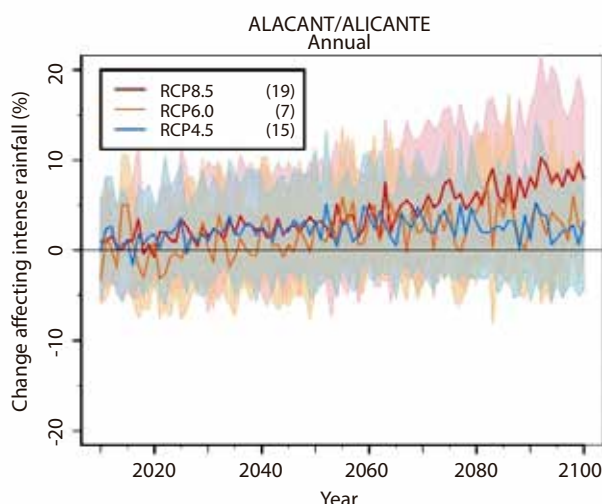
Source: AEMET. Ciudad Jardín Observatory (Alicante).

These are rainfall intensity values (daily and hourly) that have to be known for the purpose of calculating the cities' urban drainage network outflow capacities on the Mediterranean Coast, and although they appear to be really high and undoubtedly make urban drainage works much more costly, taking into consideration such values means safeguarding human life and preventing considerable economic losses where these urban zones are concerned.

Furthermore, the hourly rainfall intensity is an aspect that has been checked more frequently in recent decades on the Spanish Mediterranean Coast and,

if the climate models are confirmed, it is estimated that this will be an outstanding feature of precipitations in this part of Spain in the coming decades.

Figure 3. Changes affecting intense rainfall. Alicante (2000-2100)



Source: AEMET. Climate forecasts for 21st Century.

2.3. Effects of climate change

From the moment the first Climate Change Report prepared by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1988) was published until the present time, and after three decades of research into the climate change due to the greenhouse effect hypothesis, there are a series of manifestations in the Earth's atmosphere that it is becoming increasingly difficult to refute:

- The temperature increases that have been recorded over the last three decades cannot be explained away solely by natural causes (solar radiation). There is another factor that is altering the “normal” functioning of the energy balance on the planet, by bringing about an incentivisation of thermal longwave radiation power, originating on the Earth's surface and the surface of the sea. It is not released into the outer atmosphere because it is confined in the first few kilometres of the atmosphere. This phenomenon is associated with the presence of primary gases coming from human economic activity (CO₂, nitrous oxide, methane) and being

deposited in the atmosphere or with the interaction between these and other gases whose actual contribution to the planet's energy balance is still a mystery, such as tropospheric ozone.

- An atmosphere that loses its heat balance and becomes hotter or colder is an atmosphere that is exposed to more violent energy readjustment processes; i.e., the types of weather change more quickly and intensely. Situations with an extraordinary range occur more often. This is particularly easy to observe in the mid-latitudes because this is the development scenario for the cold air mass expansion movements (from north to south) and the hot-air mass expansion movements (from south to north).
- Since 1980, the temperatures have raised more in middle and high latitudes than in the intertropical latitudes, and especially in the Northern Hemisphere. This has been recorded not only by the instrument records from the observatories but also by the thermographs conducted using satellite data.

The Mediterranean Basin is one of the areas in the world where it is considered that climate condition changes will be most patent in the next few decades. The rise in temperatures and the drop in rainfall make it necessary to take adaptation measures to reduce the expected thermal discomfort and to reduce a reliance on conventional water resources, which would bring about a reduction in rainfall. The study on "*Climate forecasts for the 21st Century*" (Aemet, 2015), an updated on the forecasts made in 2011, has utilised three variables (maximum temperature, minimum temperature and precipitation) to analyse the way the Spanish climate model for the coming decades will evolve. The results serve to back up the data included in the previous reports issued by the State Agency and the Spanish Climate Change Office. For the Iberian Peninsula as a whole, the increase in maximum temperatures in 2100 is estimated as ranging from 1 °C to 7 °C for different gas emission scenarios, for minimum temperatures the increase will be between 1 °C and 6 °C. Furthermore, the precipitations will drop by between 4 and 8 % when compared to the averages for the period 1961-2000 2005, with an uncertainty margin of 10%.

It is well worth mentioning the values for different thermal and rainfall variables calculated in this Report, with 2100 time frame, for the Mediterranean Coast regions, the subject of the analysis, because the planning for the tourism season and hydrological planning itself are going to depend upon the way these values evolve, and these values have to be known to guarantee the

water supply for the tourism areas in this large regional zone. The table summarises the change values of the climate variables for the territories on the Mediterranean Peninsular façade.

Table 1. Changes in the climate variables in the Spanish Mediterranean regions (2100 time frame)

	Catalonia	Balearics	Valenciana Region	Murcia	Andalusia
Max. Temp (°C)	+1.5 to +5.5	+2.5 to +5.5	+1 to +5	+2 to +5	+2.5 to +5.5
Duration of heat wave (days)	10-35	10-25	5-35	10-45	7-27
Hot days (%)	20-50	25-55	15-50	20-55	20-50
Min. Temp (°C)	+2.5 to +5.5	+2 to +5	+1 to +4.5	+2.5 to +4.5	+2 to +4.5
Frosty days (days)	-20 to -35	0	-5 to -8	-3 to -7	-5 to -7
Hot nights (%)	20-50	20-50	15-50	20-50	20-50
Rainfall volume change (%)	0 to +5	-5 to -10	0 to -10	0 to -5	-7 to -15
Intense rainfall change (%)	0 to -5	0 to -2.5	0 to -7	+1 to -1	+2 to -5
Dry period duration (days)	0	0 to +2	0 to +2	0 to +2.5	+2 to +4
Number of rainy days (days)	+2 to +10	-5	-2 to +5	-2.5 to +2.5	-5

Source: AEMET⁵. Proyecciones climáticas para el s. XXI. Own research.

All in all, if the Spanish Mediterranean Coast climate proves these forecasts to be right, there will be a loss of comfort and extreme temperature events (heatwaves) and precipitation (droughts and torrential rain) will increase.

One aspect that is closely linked to recent thermal performance and rainfall on the Mediterranean Coast, is the temperature of the seawater recorded off-shore on the eastern part of the Iberian Peninsula. It has been demonstrated that the Western Mediterranean waters have warmed up in the hot months of the year, prolonging the period of high temperatures (< 25 °C) between June and September. For the Mediterranean Basin as a whole, an absolute increase of 0.22 °C has been estimated per decade, from 1973 to 2008 (Skliris *et al.*2012). Furthermore, Miro Perez (2014) has p used the satellite date

⁵ The interpretation for these variables can be found at: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climatet/result_graficos/ayuda. (Visited in June 2015).

belonging to the NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder database to calculate the thermal increase in the coastal waters near the Autonomous Region of Valencia, for the period 1985-2007, estimating an annual slope per decade that shows an increase of 0.26 °C (See table below). The most significant aspect of his analysis is that the warming up occurs mainly in the spring months and the beginning of summer (April to June) and, to a lesser extent, October. This presence of warmer waters along the Spanish Mediterranean Coast throughout the year also means an increasing the risk of severe storms occurring in the summer months, whereas towards the end of the last century, the risk of this type of phenomenon occurring was limited to the late summer or autumn months.

Table 2. Temperature increase in Western Mediterranean waters compared to the Valencia Region (1985-2007).

	Sen's slope in °C/decade	Absolute change magnitude between 1985 and 2007 (according to Sen's slope) in °C
January	0.16	0.36
February	0.17	0.39
March	0.21	0.47
April	0.54	1.24
May	0.68	1.57
June	0.68	1.57
July	0.40	0.92
August	0.11	0.25
September	-0.11	-0.26
October	0.21	0.49
November	0.08	0.18
December	0.07	0.16
Year	0.26	0.61

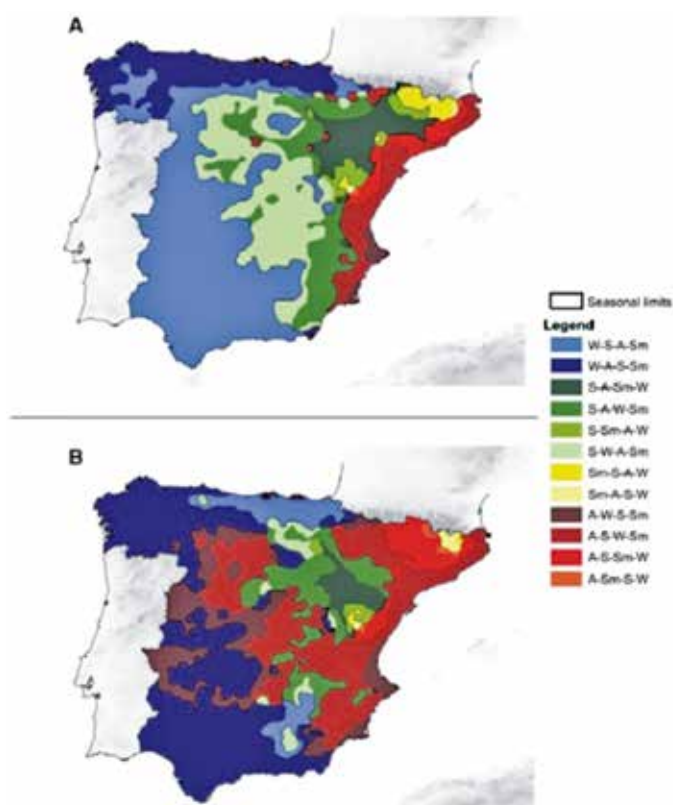
Source: Miró Pérez, 2014.

Two aspects of major importance must be stressed when analysing the way rainfall has evolved recently and approaching hydraulic and territorial planning for the Spanish Mediterranean Coast:

- It has been demonstrated that rainfall has increased in autumn in the eastern half of the peninsula. This means that spring rainfall loses out in the

annual rainfall distribution. By contrast, greater importance is attributed to the amount of rain that falls in the autumn months. This is a sign of climate change and its effects on the rainfall that have been occurring on the Mediterranean coast of the Peninsula in recent decades; and this will tender to increase in the next few decades.

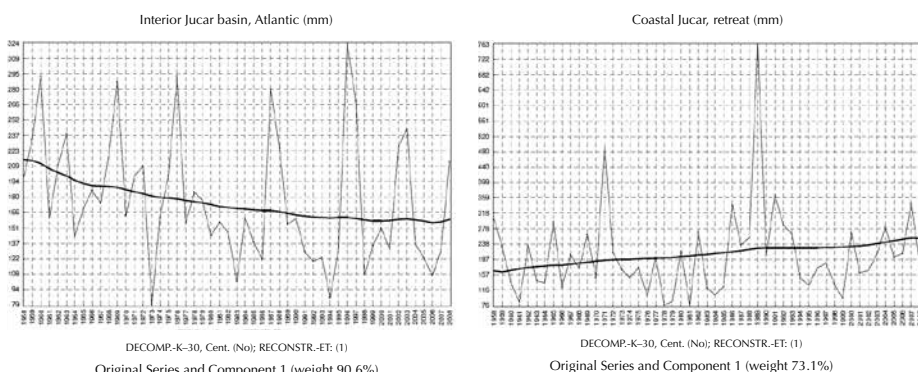
Figure 4. Changes in the seasonal rainfall patterns on the Iberian Peninsula from 1976-2005 (below) when compared to the period 1946-75 (above)



Source: De Luis, Brunetti, González-Hidalgo, Longares & Martín Vide (2013).

- When analysing recent trends in certain hydrological planning areas, such as the Jucar and Segura Basins, it can be observed that the rainfall has decreased in the upper reaches of these basins, whereas it has tended to increase in the coastal areas. This is of great importance, because the contributions to the headwaters in the Mediterranean river basins are vital when it comes to guaranteeing the annual hydrological cycle.

Figure 5. Changes affecting the territorial rainfall patterns in the River Júcar Basin (1958-2010)



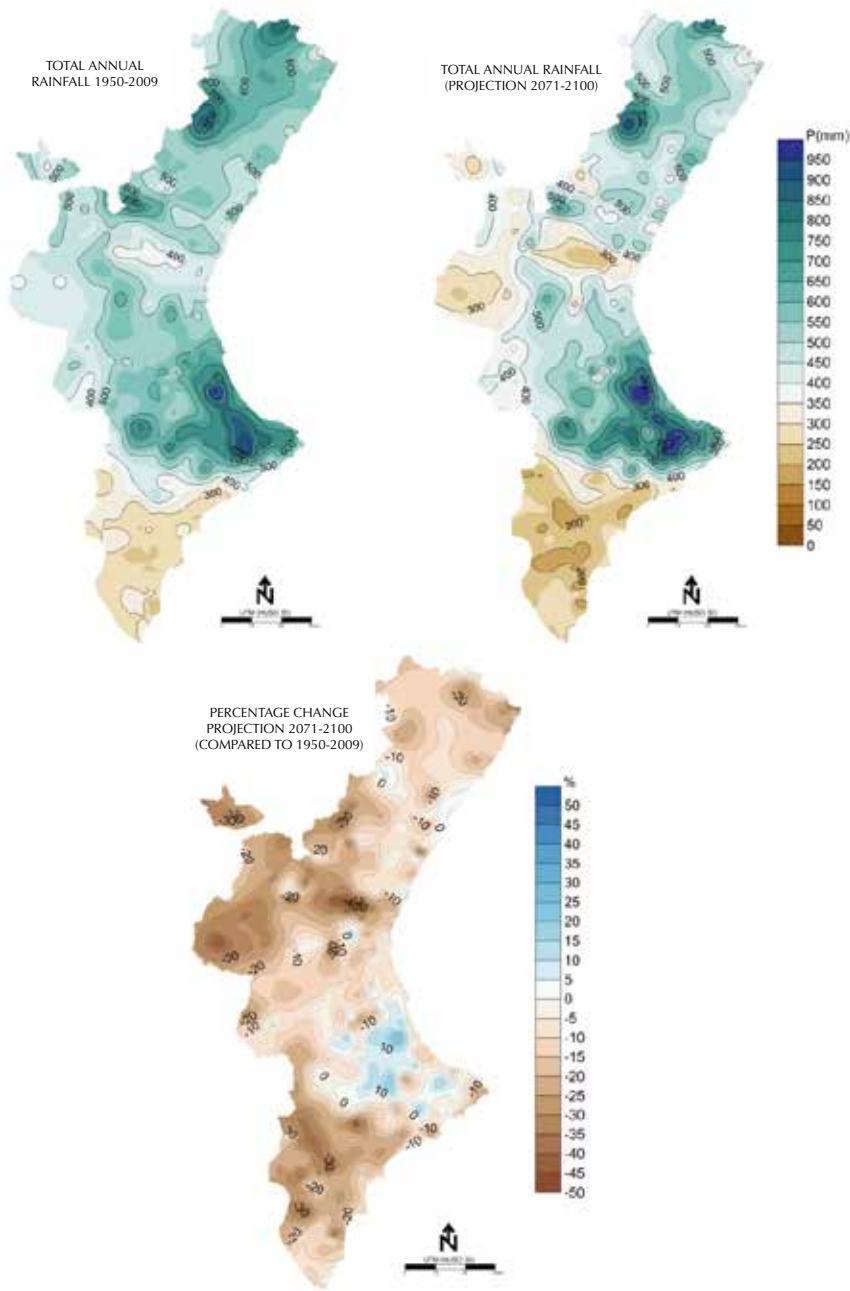
Source: Miró Pérez (2016).

Both aspects indicate less effectiveness of the frontal rainfall coming from Atlantic squalls that cross the Peninsula and, in contrast, a trend towards an increase in “Mediterranean” rainfall in autumn, in the form of spasmodic and torrential precipitations, which makes it more difficult to utilise them for water planning or supply with the hydraulic structures currently available; this means it is necessary to think of ways to adapt to this rainfall situation, which is more irregular and more torrential.

Rainfall modelling in the Autonomous Region of Valencia indicates a significant decrease in the rainfall in most of the territory and especially in the southernmost parts. Nevertheless, a future trend is shown towards a rise in the rainfall in the geographical areas that generally receive the highest annual precipitations (southern districts in the Province of Valencia and northern districts in the Province of Alicante). The enclosed figure shows how precipitations are expected to develop in the Valencia territory, until 2100.

All of this brings to light the importance of taking climate modelling into account in territorial planning and the natural resources essential for the running of a country. Within a framework of the sustainable planning of water resources where interbasin water transfer schemes are going to be more difficult to develop, it is going to be increasingly necessary to resort to the use of “unconventional waters” (treated, reused and desalinated) not merely as an option, if we are to guarantee the water supply in the tourist areas of the Spanish Mediterranean Coast and the two archipelagos.

Figure 6. How rainfall has evolved in the Autonomous Region of Valencia. 2100 time frame



Source: Miró and Olcina, 2016.

Table 3. Summary of the effects of global warming in Spanish Mediterranean Regions for the purpose of water planning in urban areas

Climate element	Expected effects
Temperatures	– Mean annual temperature rise – Significant increase in minimum night temperatures (increase in the frequency of “tropical nights > 20 °C) – Increase in evaporation – Loss of climate comfort in the central months of summer
Rainfall	– Rainfall decrease, more marked in the southern territories of the Mediterranean Coast, and especially in the south-east of the Iberian Peninsula – Change in seasonal rainfall patterns with greater concentrations of rainfall in autumn and a reduction in spring – Trend towards a rainfall increase in the coastal zones and a decrease inland – Temperature increase in the Mediterranean Sea, with a greater risk of torrential precipitations
In summary , loss of regularity and climate comfort, together with an increase in extreme rainfall phenomena (drought spells, intense and torrential rainfall periods)	

Source: Own research.

2.4. Challenges for the urban water cycle

The atmospheric extremes of the Mediterranean climate constitute a challenge for the urban water cycle. Mediterranean cities must be prepared to withstand months of limited rainfall, while at the same time having to cope with torrential rain that causes flooding and waterlogging. What is required is hydrological and territorial planning “for extreme situations” that can guarantee water in a geographical zone subjected to periods of drought and with major urban demands for the resource. This has to be achieved without a loss of human lives and considerable economic losses as a result of very heavy rainfall in short periods of time.

The table shown below summarises the urban planning challenges for water on the Mediterranean Coast associated with the presence of hydrological extremes as a characteristic inherent to the precipitations that occur in this type of climate.

Table 4. Urban planning challenges for water on the Mediterranean Coast

Planning in a drought situation	– Diverse supply sources (traditional resources –surface and underground- and “unconventional resources”, water treatment and desalination) – Network efficiency (reducing losses to a minimum) – Ongoing monitoring. Remote control – Alternative distribution networks for treated water – Opting for tertiary and quaternary treatment systems (collaboration with the regional bodies responsible for wastewater treatment) – Constructing distribution tanks designed for water-shortage situations – Emergency municipal plans for drought situations – Tariff system that penalises excess consumption – Ongoing social awareness informing about the benefits of water saving
Planning for periods of torrential rain	– Constructing large-capacity stormwater sewers – Adapting traditional sewerage systems to heavy rainfall – Constructing rainwater tanks – Constructing floodable public zones (flood parks, esplanades) – Warning systems for towns (Specific applications on mobile phones) – Implementing sustainable urban drainage systems

Source: Own research.

3. WATER RESOURCES

3.1. Background to Water Supply for Alicante

Throughout the centuries the City of Alicante has been fraught with water shortage. Lacking in its own resources because of the morphological and climatic conditions of its surroundings, the city has always been forced either to obtain resources from beyond its own hinterland, or to store them using a variety of systems that, whatever the case may be, required planning, development, operation and a rather complex hydraulic infrastructure management system.

In this sense, the development of Alicante’s drinking water supply system can be split into three basic stages, which have been evolved at the same time as the size and population of the city have continued to grow.

- Groundwater provided the city’s first and only water supply system until the first half of the 20th Century. The original system, which would appear

to date back to at least the Muslim period, must have consisted of elementary procedures for raising shallow water. During the 17th and 18th Centuries, technological breakthroughs made it possible to prepare mines and excavate shafts and tunnels, making water wheels and mills an essential part of the hydraulic economy, these lasting until at least beginning of the 20th Century.

- The growing demand for resources coupled with the recurring periods of drought, were what prompted the construction of major hydraulic works at the end of the 19th Century and the beginning of the 20th Century. The first of these works conveyed water from La Alcoraya, and it came into operation in 1881. The water was delivered from door to door by water carriers who delivered the resource in pitchers coming from the five sources installed in the urban area. This first attempt was followed by a new and even more ambitious and innovative project, the 48 Km long “Alicante Canal”, which in 1898 started to transport water from the Sax artesian wells, located in Alto Vinalopó. The flow rate was 10 l/sec., which shared out among the inhabitants at the time, amounted to 21.6 litres per person/day, a quantity that was far above the amount that was reaching other capital cities at that time.

The Sociedad General de Aguas de Barcelona, responsible for supplying the city since 1926, began to make major investments in the third decade of the last century, which led to an increase in the volumes of water that could be conveyed, an enlargement of the urban network, a further deepening of the wells and the drawing-off of new groundwater resources, although this latter achievement did not occur until the 1960s. This brought to an end a period of urban water supply consolidation and expansion, and the service was municipalised via the Sociedad Aguas de Alicante.

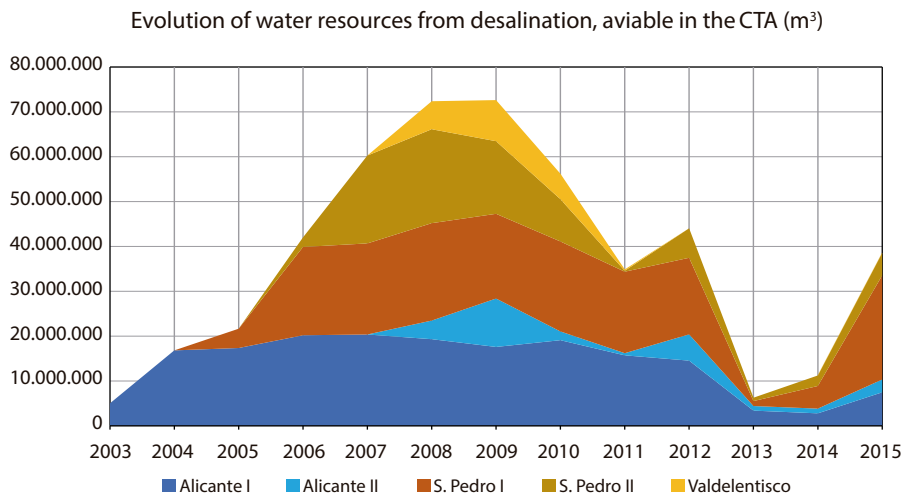
- The new water sources soon became insufficient to cater for the growing demand, especially along the coast, which meant that Alicante City Council had to join the “Canales del Taibilla” Association, which has discharges flowing in from the River Taibilla, located in the nearby Segura Basin. However, not much later, in the 1960s, the “Canales del Taibilla” Association found itself unable to meet its members’ demands, whose numbers had risen from 2 to 26 in just one decade.

It was in this context that the Tagus-Segura Water Transfer Project first emerged in 1967. It was scheduled to be completed at the same time as Aguas de Alicante’s new infrastructures were finished. Those infrastructures

revolved around two main courses of action: improving the systems for conveying discharges from the Alto Vinalopó, by doubling the volume transported and replacing the original Canal del Cid throughout its masonry section; those works are still functioning today, and enable the operators to transfer flows at rates of up to 2,000 l/sec.; the second activity, involved diversifying the groundwater draw-offs and channelling them to aquifers where the water quality was better and the resources were more plentiful.

Yet all these efforts turned out to be insufficient and water requirements will continue to grow, according to future predictions, so new sources are currently being sought from desalinated resources. These include the resources from the Canal de Alicante I and II, managed by the MCT, with a nominal production of 50,000 and 65,000 m³/day, respectively, of desalinated water for human consumption, and the recent commissioning of the Marina Baja Desalination Plant, in Mutxamel, managed by ACUAMED, with a maximum rated capacity of 18,000 m³/day, at its first phase.

Figure 7. Evolution of Water Resources from desalination in the Canales del Taibilla Association supply system, from 2003 to 2015



This type of unconventional resource has not appeared on a large scale. It has been gradually introduced, starting with the area around Alicante, with the availability of 5 hm³ in 2003, coming from the first production line of the Aguamarga Desalination facility in Alicante. The increase in the

quantities was gradually phased in until the amounts reached 28 hm³ in 2009, with the aid of two production lines from the Aguamarga Desalination Plant in Alicante, with a minimum of around 4 hm³ both in 2013 and 2014.

3.2. Supply Guarantees

3.2.1. Evolution and Combination of Supply Sources

Water resource management in the arid and semi-arid Mediterranean regions like Alicante, is a complex task involving a large number of hydrological, environmental and management factors that must be considered when providing a supply that can guarantee and combine minimum quality of live levels while also protecting the environment.

Droughts, which are so frequent in the Mediterranean Area, aggravate these problems still further. As it is not possible to accurately predict when they will occur and how long they will last, preparation and foresight are vital for reducing their impact.

In this sense, the current supply model used by Aguas de Alicante, E.M. efficiently combines two types of resources:

- Surface: coming from the Canales del Taibilla Association, and thus, without power for managing its operation, only having control over distribution. One basic characteristic of this type of resource is that the resources are more predominant than the reserves. The origin of these kinds of resources has diversified in recent years, and now a large proportion of the water comes from desalination processes.
- Groundwater: coming from licences granted by the Authorities for using local groundwater —whether or not the drawn-off resources are owned by AMAEM—, which allows for the possibility of controlling the entire management cycle, including extraction, conveyance and distribution. Unlike the other case with surface water, the reserves take precedence over the resources.

This system involving the combined use of surface water and groundwater, where even the origins have been diversified to a maximum (whether regarding potential sources of resources, in the case of surface water, or the use of different Groundwater Masses, in the case of groundwater), has enabled planners not only to establish the rules for providing the water

supply and for providing sufficient guarantees for that supply —which are so necessary for a growing supply as is the case with Alicante and the surrounding towns— but also to guarantee that the inhabitants have an uninterrupted water supply, even in periods that are particularly difficult, such as the present time, utilising for this purpose not only the resources but also the groundwater reserves, conserved during periods of lower demand.

The aforementioned supply guarantee is based not only upon suitable and efficient management of the joint use of both resource types, but also on the incorporation of other water management techniques, like the utilisation of alternative water sources for purposes other than drinking, the utilisation of temporary transfer of rights, reuse technologies, etc.

Therefore, correct planning for the changes that could take place in future water-resource demand and water availability as a result of climate change is of paramount importance.

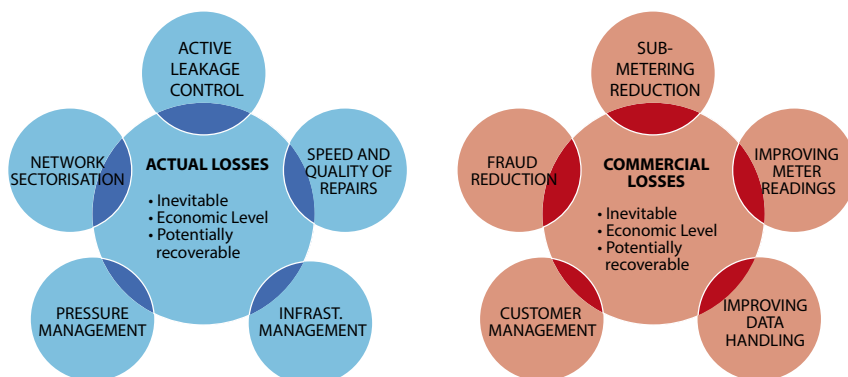
3.2.2. Efficiency in the use of water resources

In Alicante, efficient management is understood as meaning all the tasks aimed at preventing the resources from entering the drinking water network, while at the same time ensuring that the subscribers' and stakeholders' rights are guaranteed where water discharge, pressure and quality are concerned.

Furthermore, water-saving is a requirement in the Alicante conurbation, which is characterised by the absence of natural water resources (rivers, lakes, aquifers or snow-caps) and periods of exceptionally high rainfall every 15-20 years, as has been explained above.

The technical literature focuses on actions aimed at reducing the amount of Non-Recorded Water (NRW). NRW is the indicator that shows the difference between the volume of water supplied to the system and the volume of water recorded in the customers' metering systems (Alegre, 2000; 2006).

Diagrams are used below to illustrate the technical and commercial activities aimed at reducing NRW, classified into objectives (for a more detailed breakdown, refer to Álvarez *et al.*, 2014).

Figure 8. Technical and commercial activities aimed at reducing NRW

An exhaustive description of the actions considered does not fall within the scope of this communication, but a brief account is given of those that might be of greatest interest.

Network sectorisation. Control over minimum night consumption

The Alicante distribution network is currently controlled by means of 67 hydraulic sectors that make it possible to monitor the flows supplied to each zone. The limited length of these sectors (just over 8 kilometres of network per sector, on average) and the use of highly-developed analysis algorithms to analyse the minimum night flow, make it possible to detect leaks at an early stage. It has sometimes been possible to diagnose and detect discharge leaks as small as 500 litres in one hour.

Active control over network losses: prioritising the search for leaks

Conducting preventive inspections of the distribution network, optimising the frequency for each sector. These inspections are programmed with the aid of the “PRIFU” computing tool applied to preventive search throughout the network.

Infrastructure management: Automation improvements

Ongoing network monitoring, using 114 remote control stations and 156 data-loggers. To be specific, 150 levels, 32 continuous chlorine analysers, 234 meters and 185 pressures are supervised.

Infrastructure management. Double network of reused urban water (DRUR – Acronym in Spanish)

Subsequent chapters will explain the development of the DRUR and how, in just a few years, it has brought about a change in consumption patterns in public and private parks and gardens.

Sub-metering reduction

Renovation and updating the stock of meters, on the basis of average-age, volume measured and return-on-investment criteria. An average of 25,382 meters were replaced between 2012 and 2016, the maximum being reached in 2015, when 27,077 meters were replaced.

Improving meter reading

Implementation remote reading on the fixed network, via long-range radio, planned for the entire stock of meters. By 2017, this had been implemented in 60% of the total number of meters.

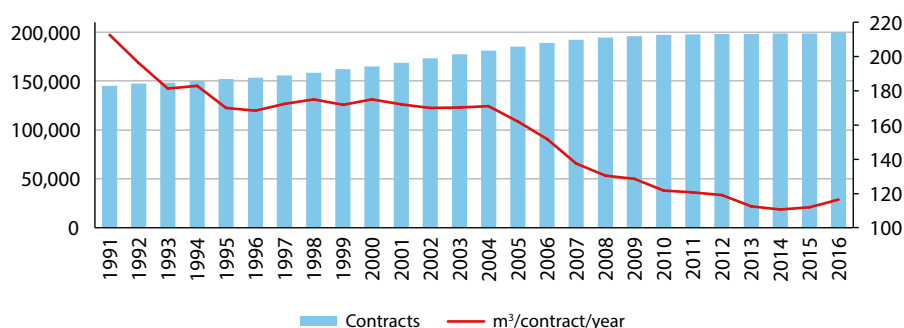
Customer management: readings and commercial information

Systematic reading for all customers, implementing remote reading as has already been explained, constantly updating the commercial information, more than 185,291 enquiries dealt with on the free-of-charge 900 customer care line, etc.

Customer management: awareness of efficient use

Between 2007 and 2016 over 30,500 students received awareness programmes aimed at schools, further education centres and universities. One good indicator of this awareness is a reduction in the number of litres consumed per day and contract (i.e., at each supply point) explained below.

Figure 9. Evolution of the water allocations supplied and the number of contracts 1991-2016

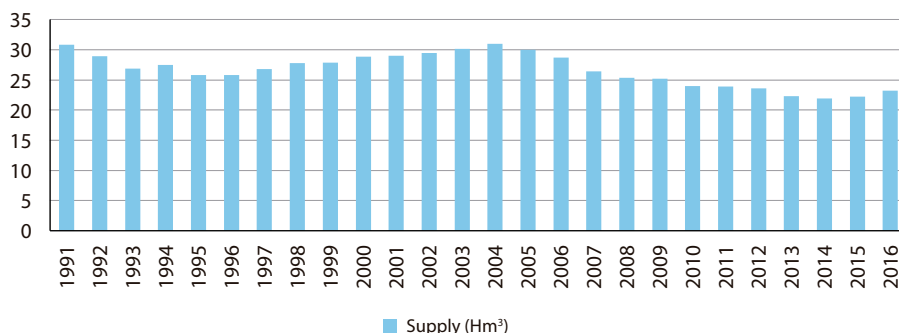


Technical-hydraulic performance

The actions taken with a view to reducing NRW levels, as explained, constitute the basis for achieving better values for the two main efficiency indicators (Álvarez *et al.*, 2014): technical-hydraulic performance and economic loss level.

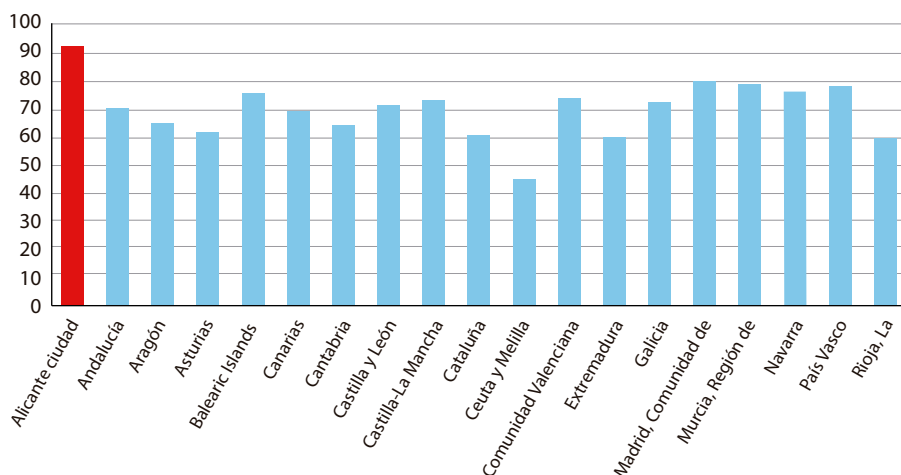
To be specific, the value of water supplied to the system over the past 25 years in Alicante has remained relatively stable.

Figure 10. Evolution for the water supplied 1991-2016



Apart from the causes that have a direct effect on reducing water consumption *per capita*, such as changes in consumption habits and the increased efficiency of electrical appliances (cf. Carmen Albiol & Francisco Angulo, *Aquae Papers* #6, *La reducción del consumo de agua en España: Causas y tendencias* (*The reduction of water consumption in Spain: causes and trends*)), special importance must be attached to correct management policies where Alicante is concerned (meter replacement, remote reading, modernising the distribution networks, etc.), because such policies made it possible to keep the technical-hydraulic performance at around 90% in the City of Alicante between 2010 and 2015.

Figure 11. Technical-hydraulic performance in Alicante and by Autonomous Regions



These positive technical-hydraulic performance results can be better understood when compared with other nearby zones that are governed by different management strategies (in the following graph depending on the average age of the network and the average age of the meters). It should come as no surprise to anyone that investment in network modernisation and in measurement equipment have a direct effect on improving performance.

Figure 12. Technical-hydraulic performance by geographical zones and average age of the network

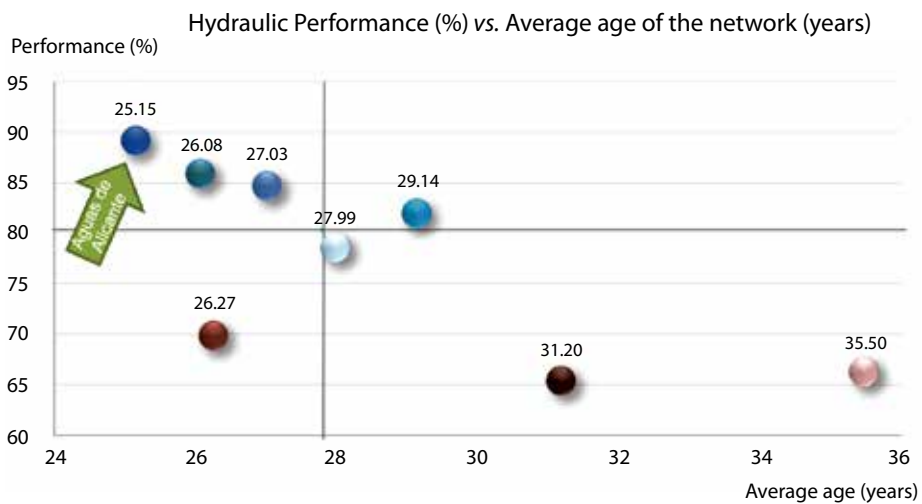
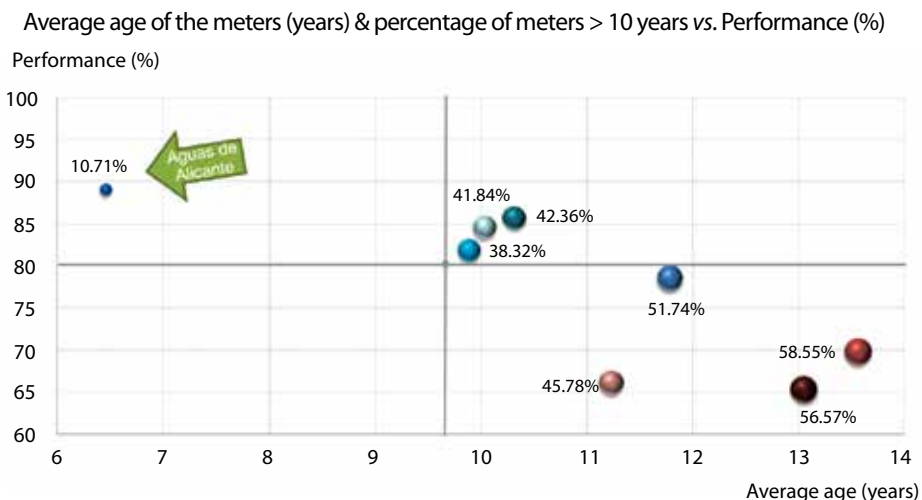


Figure 13. Technical-hydraulic performance by geographical zones and average age of the meters



Economic loss level

It should go without saying that distribution networks are concealed structures, which makes them difficult to diagnose. Yet this very fact means that it is necessary, to the extent that this is possible, to anticipate faults and failures, rather than merely reacting to them when they have occurred. Such anticipation can only be achieved by replacement at the right time. The high cost and effect of network replacement, together with the vital importance of maintaining the structures in the very best possible state of repair to minimise leakage and bursts, makes it essential to use optimisation applications that can validate decisions in this area. The Metrawa tool for prioritising network replacement was especially developed with this in mind.

This multi-criteria computing tool (envisaging both technical and economic factors) establishes which network sections ought to be replaced in the short-, medium- and long-term on the basis of the investments available. The tool thus applies expert criteria systematically, without subjective bias, data omission, etc.; this solution, which is periodically calibrated on the basis of actual results, also simulates the way performance will evolve in the event of different amounts being allocated to the renovation process.

A 5-year replacement plan based upon Metrawa has now been applied to the Alicante network.

3.3. Water reuse for urban purposes in Alicante

One of the key factors for understanding the efficient use of resources in the case of Alicante in particular, and the Mediterranean context, in general, is the reuse of treated and regenerated water. This factor is well worth a special section in this study because of its current importance and future potential.

Although the above-mentioned diversification of resources has enabled Alicante to have a guaranteed water supply, it is not a good idea to use these resources for specific purposes (urban watering, street-cleaning, etc.), because they are so difficult to obtain and involve desalination processes, long-distance conveyance and/or extraction from great depths.

3.3.1. Developing the double network of reused water

Water reuse in Alicante dates back to 1995, when it was first put into practice at the Bonalba Golf Course, after the latter requested the

concession of reused water for the watering of its facilities. Reuse became a reality the following year, when EMARASA commissioned the first tertiary water treatment plant in Alicante, with a capacity of 2,500 m³ per day.

Figure 14. Double Urban Network of reused water in Alicante



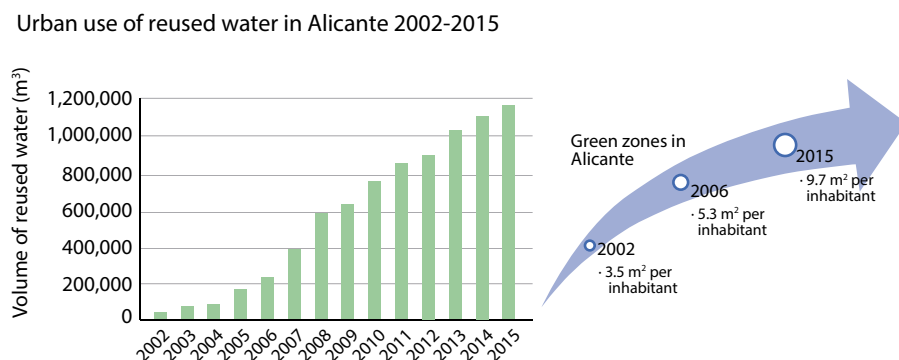
From that moment on, urban reuse of water has made steady progress, both in volume and in infrastructures, but 2003 was a milestone year, when the Alicante Wastewater Re-use Master Plan received the go-ahead. This document was the decisive factor that made the city opt for Re-use as the structural solution for non-drinking water, via the following points:

- Pinpointing the current and future urban watering zones.
- Quantifying the volumes of water required in successive stages.
- Defining the treatment, distribution and watering structures needed.
- Devising a special investment plan to be carried out.

From that moment on, the deployment of networks supplying regenerated water to Alicante's major green spaces from the nearby Monte Orguegia and Rincon de Leon Treatment Plants, has made it possible to gradually replace

the drinking water discharges, while at the same time enabling the city's vegetation to thrive. Two graphs serve to illustrate this process.

Figure 15. Evolution of urban use of regenerated water and growth of green zones



The first one shows how the consumption of regenerated water for urban uses evolved between 2002 and 2015, whereas the second one indicates how green spaces evolved per inhabitant during that same period.

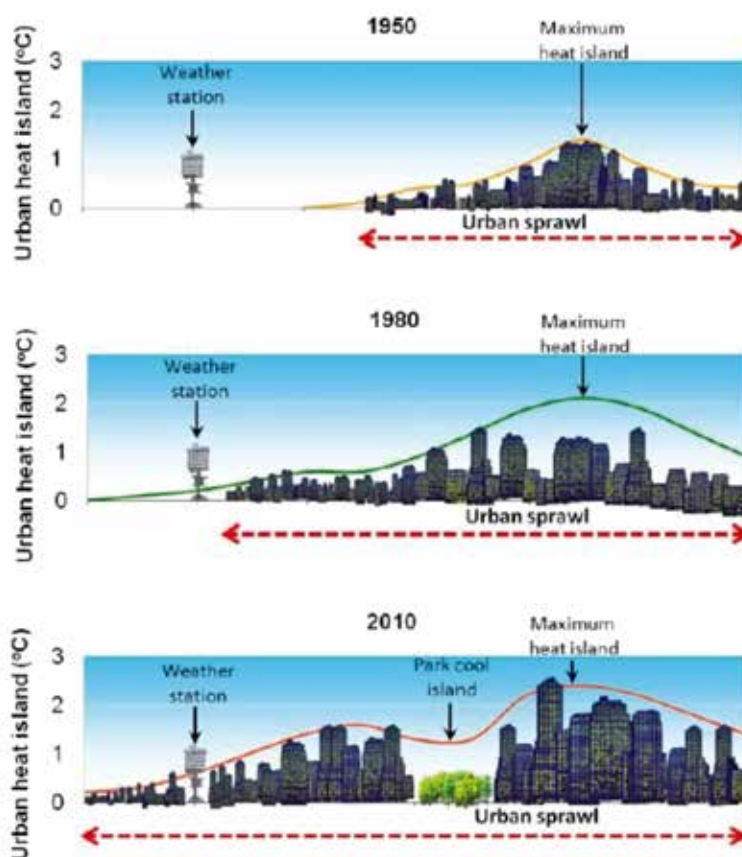
3.3.2. Impact of regenerated water on the urban environment

The importance of the last indicator has been endorsed by many studies that show how necessary green spaces are for citizens' physical and mental health. The fact that the WHO has explicitly included it among the Indicators for Health in Sustainable Cities, with an objective value of 10 m²/inhabitant endorses this. The WHO Report "Urban Green Spaces and Health, 2016" reviews all the scientific evidence that associates these positive effects on health improvement with the presence of parks and gardens. The benefits found include the fact that green zones have a positive effect on the immunity system, obesity, sleep, cognitive capacities, the cardiovascular system, life expectancy and even the criminality index.

The "heat island" effect is a well-known phenomenon whereby city temperatures rise owing to the great absorption surface in built-up areas. This effect has a special impact on the minimum temperatures (night-time), raising them by more than 2 °C. The significance of this effect becomes clear if we remember that one of the consequences of climate change is the loss of climate comfort in the Mediterranean zone that leads, amongst other things, to the

so-called “tropical night phenomenon” with minimum temperatures of over 20 °C. Therefore, special importance must be attached to the measures that can reduce this “island” effect in the context of atmosphere warming; one of the most effective ways of mitigating this is by increasing the number of green zones in urban areas.

Image 2. Urban effect of the “heat island”. Impact of the green zones on mitigating it



Source: R. Connolly, and M. Connolly (2014). *Urbanization bias I. Is it a negligible problem for global temperature estimates?*

That is why the way Alicante has evolved —from being a city with little vegetation and associated with a permanent lack of water resources, to its current balanced state— is particularly important. It must not be forgotten that in this period, the urban population grew by 42,000 inhabitants; it is difficult to

imagine what the situation would have been like without reuse. It can be said without exaggerating, that reused water adds yet another dimension to urban resilience: the psychological resilience that green space give to city dwellers to enable them to cope with the growing pressures that might have a negative effect on their health, such as pollution, noise, a sedentary life-style and extreme temperatures.

3.3.3. *Economic context of water reuse*

Significant investment is required to implement the infrastructures needed to distribute the water regenerated in a consolidated urban environment: it is an infrastructure to be developed from scratch whose cost must be competitive. Therefore, a reductionist application of the principle of cost recovery established in the Framework Water Directive could make the solution unviable, by applying unbearable costs on a resource rendering its utilisation unprofitable.

At this point it is necessary to open up the perspective and remember that the urban water cycle is an ongoing and integrated process, in which regeneration forms an essential step. If there is any doubt in this respect, all one has to do is to put the question the other way around, as P. Rougé and F. Hernández did in 2016: What is the cost of not regenerating? In a context of water-resource shortage, the answer comes back immediately: not reusing water will have the negative impact of reducing the availability of the resources allocated to drinking (and agricultural) consumption, causing their cost to rise. Otherwise, **investment in regenerated-water infrastructures is an investment that will ensure the guarantee of a supply of drinking water** and keeping down its cost. As Joaquin Melgar-ejo pointed out (See for example, *Purification and reuse de waters in Spain*, 2016), if reuse is to be encouraged, “it is essential to establish a price policy that divides up the cost of regeneration and the cost of wastewater management **among all the consumptions**, establishing initiatives to make sure that regenerated water is utilised in all sectors, whenever this is possible”.

The argument is backed up when we compare the investment and the operating costs required by the reuse infrastructures, to those given over to purification and potabilization treatment. In this sense, we must refer to the work carried out by P. Rougé & F. Hernández (see attached table).

Table 5. Comparison between treatment costs in the urban water cycle

Treatment	Production level		
	M (M < 1,000 m ³ /d)	L (1,000 m ³ /d < L < 100,000 m ³ /d)	XL (XL > 100,000 m ³ /d)
Potabilization			
CAPEX (€/m ³ .d ⁻¹)	–	350	250
OPEX (€/Dam ³)	–	70	60
Advanced potabilization			
CAPEX (€/m ³ .d ⁻¹)	–	600	300
OPEX (€/Dam ³)	–	350	200
Purification			
CAPEX (€/m ³ .d ⁻¹)	2,500	1,000	500
OPEX (€/Dam ³)	350	200	150
Reuse (Tertiary with disinfection)			
CAPEX (€/m ³ .d ⁻¹)	400	200	100
OPEX (€/Dam ³)	40	30	25
Reuse (Disinfection and desalination)			
CAPEX (€/m ³ .d ⁻¹)	1,000	600	300
OPEX (€/Dam ³)	600	400	200
Seawater desalination			
CAPEX (€/m ³ .d ⁻¹)	1,500	1,250	1,250
OPEX (€/Dam ³)	600	550	500

Source: Philippe Rouge & Francesc Hernandez (2016). "The cost of not regenerating".

We can summarise these figures by stating that the respective investment cost and operating cost of reuse treatment, amount to less than one tenth of the cost of the rest of the procedures in the cycle (potabilization and purification). Other points of comparison that have been studied by the same authors reveal how investment in tertiary treatment for regeneration account for approximately one fifth of what is required for storage or (more significantly) for deploying just 10 Km of the water high level transport network.

We could also add environmental factors to the above-mentioned considerations: energy consumption and, thus, the carbon footprint involved in the

reuse process is, in the least favourable of cases, less than one tenth of the energy consumed in water production and potabilization. The carbon footprint is negligible for conventional tertiary treatment in an urban WWTP, like the Monte Orgegia Plant in Alicante.

Furthermore, according to the recent study entitled “*Reutilización de aguas regeneradas: aproximación a los costes de producción y valoración de su uso (Reuse of regenerated water: approximation of the production cost and valuing their use)*” (Alberto del Villar-Garcia, 2016), which estimates the economic value of reused water produced in Spain at around 2,165 million Euros per year, the investment return on this type of resource is more than positive enough, with a ratio of more than 1 to 3.

In addition, as the same author has reminded us, there are other evaluations associated with the reuse process added to the value of the resource that we can measure in economic terms, such as not having to dump organic loads into the environment. If one assumes that the treatment is better than that required by the regulations for dumping waste in the environment (secondary treatment), a certain pollution load is dealt with that would otherwise end up in the receiving medium; in the case of Alicante, the Mediterranean Sea. According to Villar-Garcia's estimate, “*in absolute terms, tertiary treatment and subsequent reuse saves on dumping about 1,450 tonnes of nitrogen, 290 tonnes of phosphorus and 4,500 tonnes of DBO5 into the environment*”.

Apart from these reflections, investment in reuse, as with any other infrastructure, must not lose sight of the other part of the equation: assurance of use and users. This apparently obvious condition is vital when it comes to guaranteeing the economic feasibility of the activities and compliance with their objectives. After the initial boost that the licence granted for the Bonalba golf course meant for Alicante, the financing structure and fees that are described in the next section were essential for the implementation of the double network.

3.3.4. Success factors

As has already been explained, suitable planning and a clear commitment to reuse were key elements in developing this resource. Yet there are other aspects without which this experience could not have been successfully developed: a suitable charging structure, the financing of infrastructures and a high level of technical expertise.

The financing structure adopted in Alicante can be summarised in a relatively simple way, which is consistent with the comprehensive view of the water cycle described in the preceding section, i.e. investment in reuse infrastructures is supported jointly by both the drinking water and reused water charges, whereas the operating cost (treatment, energy, maintenance, etc.) is only included on the latter. The average price of recycled water as a result of this system⁶ is 0.35€, which is approximately one fifth of the drinking water price, so the objective of encouraging the utilisation of the alternative resource is successfully achieved.

Image 3. Palmeral Park, Alicante



Furthermore, we must not fail to mention the importance of a suitable technical and technological development when implementing reuse; the possible consideration of *secondary* uses such as watering gardens or cleaning the streets could cause us to mistakenly into an insufficient level of requirement. In this sense, it must not be forgotten that Spanish Law (Royal Decree 1620/2007) establishes certain requirements that at times (see the

⁶ In January 2018.

question of turbidity) are more demanding than those defined for drinking water. However, the onus is on the manager to establish the controls and strategies that make it possible to guarantee those levels. Where Alicante is concerned, developing and applying technological solutions has always been constant, and includes protection systems in the service connections to prevent any contact between the drinking water pipelines and the regenerated water pipelines and establishing specific installation standards, not to mention oxygenation of the storage facilities and remote control of the networks.

Finally, the description of the Alicante experience would not be complete without mentioning the outstanding public and institutional support given to all the initiatives associated with reuse in the city. So, it must be stressed that the public representatives gave their unanimous backing to all the decisions that have made it possible to implement regenerated water for urban uses, to the extent that it has never been a cause for political controversy. Positive acceptance by all the inhabitants of Alicante has also been important, to such an extent that today the citizens would find it unconceivable to deploy drinking water for watering the city's parks and gardens.

4. URBAN DRAINAGE

The quality of the resource in the city, the fact that its layout is more or less consistent with the physical support on which it is laid, must consider, amongst other questions, the risk of natural phenomena with extraordinary consequences, together with the possibility of preventing those consequences. Structural measures have been the solutions most frequently adopted to improve urban drainage conditions and prevent rainwater from damaging urban zones. In Spain, and especially in its Mediterranean coastal areas. This became clear as from the second half of the 19th Century, when modern urban sprawl in cities made it necessary to devise engineering activities aimed at preventing surface runoff from flowing through the streets and causing a negative impact. Furthermore, territorial planning processes have not taken into account the natural risk aspect until recently. It was only in 2008, after the State passed the Land Act (modified in 2015), that it became mandatory to draw up natural risk maps that had to be considered for urban and territorial planning. However, some Autonomous Regions did prepare regulations and plans some years before 2008, with a view to reducing flood risks through territorial planning. On the Spanish Mediterranean Coast, this applied to the Autonomous Regions of Valencia, Catalonia, Andalusia and the Balearics.

It must be pointed out that in city, the risks involved in extreme rainfall can only be reduced by intelligently combining actions of a structural nature with territorial planning measures. The former solve the drainage problems that already exist in cities and that appear when there is a spell of very heavy rain, whereas the latter prepare the land for the future by preventing the unwanted consequences of torrential rain in high-risk zones. All of this has to be accompanied by providing the required information and by educating citizens about the hazards in high-risk urban areas.

In the City of Alicante, there is a high risk of flooding caused by high hourly rainfall intensities. This is one of the significant geographical risks that have characterised its urban development from the dim and distant past right up to the present time. Some of the districts have suffered from serious problems as a result of flash floods in the urban gullies, which have caused considerable economic damage and loss of life. Without forgetting certain past events that deserve a mention in the city's chronicles (Nicasio Camilo Jover, 1863; Viravens, 1876), the extensive list of such events throughout the 20th Century shows just how exposed the urban section is to flooding in a series of watercourses (gullies, dry riverbeds) that have come to form part of the city's streets. The urban growth has sometimes failed to take into account the dry riverbeds that descend from the hills dotted around the city limits (Tossal, Benacantil, Garbinet, Orgegia, San Julian and Fontcalent) or gullies that flow down to the Alicante Coast draining the Prebetic relief that surrounds the *Campo de Alicante* (Juncaret, Ovejas and Agua Amarga Gullies). The urban sectors of San Gabriel, Sangueta, the central area around the Rambla de Méndez Núñez, Óscar Esplá, San Agustín, the mouth of the Maldo Gully in La Albufereta are all zones that have been regularly affected by flooding in recent years. The same applies to the San Juan Beach, which emerged from the former marshland and was submerged, recovering its former natural function, when very heavy rain falls.

4.1. Background. Urban evolution of Alicante: a process of gradual “absorption” of gullies in its urban section

The way the city of Alicante evolved could be understood as a series of adaptations to the layout of the rivers that flow across the countryside in Alicante. Five main gullies (Canicia, Bonhivern, San Agustín-San Blas, Ovejas and Agua Amarga) were successively absorbed by the urban sprawl, increasing the risk of flooding in the zones lying in their course. The Orgegia and Juncaret Gullies in the northern part of the municipality

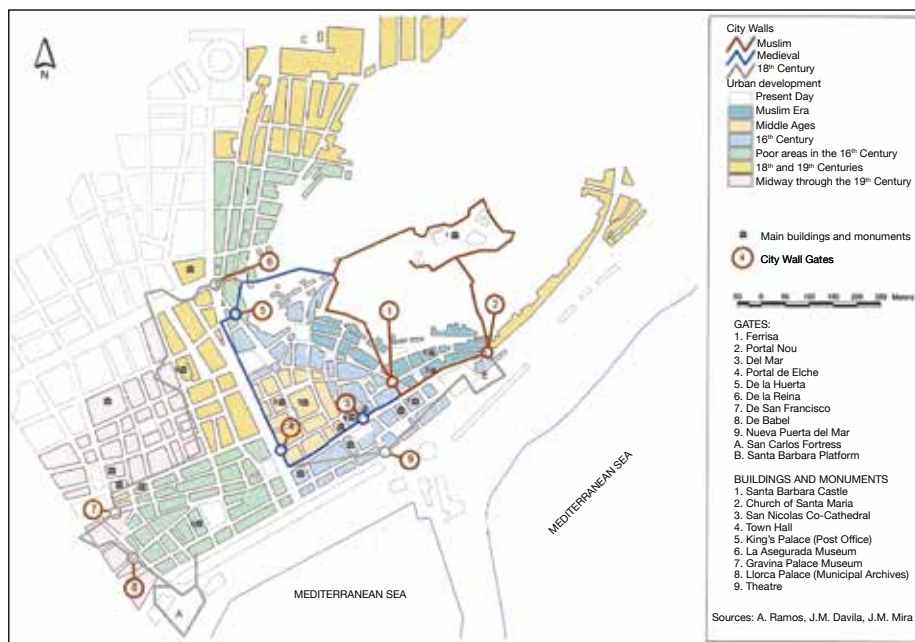
and the precarious sub-drainage area (endorreism) of the San Juan Beach can be added to them. Alicante's population's exposure to the natural phenomenon of flooding has increased as the land occupation has expanded.

Ever since the City of Alicante was founded by the Arabs in its current position on the sides of Mount Benacantil, there has been a major built-up area in the Canicia Gully, which constituted a natural barrier to growth. This watercourse, whose source lies close to the ridges of the Virgen del Remedio runs down towards the southern foothills of Mount Benacantil, before flowing into the coastline. The first "absorption" of a gully by Alicante's urban sprawl took place in the 16th Century. In fact, two poor quarters sprang up outside the walls in that century: San Anton and San Francisco. Developments in that zone meant that the Canicia Gully had then become part of Alicante, although it was not until the 19th Century that the original ravine actually became a street.

A new outlying district, Arrabal Roig, was developed in the 18th Century, which marked the beginning of the urban sprawl gradually spreading into a new riverbed, the Bonhivern or La Goteta Gully, whose source lay close to the ridges of the Garbinet, ran down the northern slopes of the Serra Grossa –in its southern section- and originally flowed into the sea close to the Postiguet Beach.

Two major events marked the growth of the town of Alicante in the second half of the 19th Century, where absorbing gullies into the urban sprawl was concerned: approval given to the peripheral housing development (*Ensanche*) project and the construction of the Benalúa hygienist district. The first of these amounted to a consolidation of the Alicante street system that would continue to grow throughout the 20th Century. This finally completed not only the incorporation of the Canicia Gully and the series of small dry riverbeds that run down in a north-to-south direction, from the El Tossal de San Fernando hill and cross a series of streets forming part of the *Ensanche* itself, but also the dry riverbeds that, running from east to west, are tributaries of the Canicia Gully, flowing into its right bank. The construction of the Benalúa district in the second half of the 19th Century, meant that a new gully was absorbed by the urban sprawl, San Agustín-San Blas.

Figure 16. Map showing how the City of Alicante evolved up until the 18th Century



The 20th Century, especially the second half, was when the city expanded rapidly and finally absorbed the four main gullies that cross it (Canicia, Bonhivern, San Blas-San Agustín and Ovejas). That is when the urban sprawl across areas with a major risk of flooding turned the Alicante into a city with high risks where natural phenomena were concerned.

The second half of the 20th Century saw the occupation of the central stretch along the banks of the Ovejas Gully (Llano del Espartal Industrial Estate) and the lower stretch (San Gabriel district), as well as the complete absorption of the San Agustín-San Blas Gully, with the construction of the San Blas Industrial Estate, the main street on the Estate (Avda. del Doctor Rico) running through that gully. At that time, the western sector of the *Ensanche* was also consolidated around Óscar Esplá Avenue, right by the Benalúa Gully riverbed. Further “absorptions” of gullies or precarious sub-drainage areas took place and came to form part of the urban sprawl. The Agua Amarga Gully on the southern fringes of the municipality was incorporated into the city as a result of the construction of the Las Atalayas Industrial Estate and the national highway spanned the riverbed running across a bridge that was not high enough. The Juncaret Gully as it flowed past the village of

Santa Faz, the Orgegia Gully at its confluence with the Maldo Gully (residential complexes at the mouth of the La Albufereta Gully) also became risk zones. The Playa de San Juan residential estate was built on what was once marshland lying behind the beach dunes. It is hardly surprising that it became a waterlogged area whenever there were spells of heavy rains. Furthermore, the El Palamo village spread eastwards in the central stretch of the Orgegia Gully, i.e., towards the right bank of the gully itself.

Another series of factors have combined with the expansion of the built-up area to accentuate the flood risk: the lack of planning, until 1997, of rainwater collectors with a capacity sufficient for very heavy rain, concave rather than convex road surfaces where the floodwaters flow, blocked drains and water traps leading to the sewerage systems, the way the streets were asphalted, the construction of urban roads running at right angles to the layout of the gullies and with spillways that were not able to drain away the floodwaters (Gran Via), are all aspects that made Alicante's urban population more exposed in times of heavy rainfall.

Therefore, the layout of the City of Alicante is an example of how the city gradually became more exposed to the risk of flooding as it became more firmly established. And all of this was happening in a city where the practice of building and occupying land took precedence not only over carefully planning uses and spaces, but also took precedence over giving thought to the geological features that condition the future of an area. This was common practice in many cities along the Spanish Mediterranean Coast throughout the second half of the 20th Century. The need for land and the demand for housing made it necessary to hastily grant planning permission in a way that was incompatible with the rational occupation of the land. All of this created risk areas in an urban environment, making the societies living there extremely vulnerable.

4.2. Origins and development of the Alicante drainage network

As has already been explained, the City of Alicante has grown from the hillsides of Mount Benacantil down to the lower elevations. Every time it spread, it swallowed up the various gullies that acted as natural boundaries to development: Mina, Carmen-San Rafael, Canicia, San Agustín-San Blas, Ovejas, Agua Amarga, Orgegia, Juncaret, etc. (Marquiegui, 2012 and Olcina, 2004).

Yet absorbing the successive dry riverbeds into the built-up area was not accompanied by the works required to cope with spells of heavy rain, so first

the chroniclers (Bendicho, 1640, Maltes and Lopez, circa 1752, Jover, 1862, and Viravens, 1876), and later the press (Olcina et al, 2003), referred to periodical flooding that caused damage.

Such examples of flooding and damage can be found in the two articles by Echarri, 2011 and 2013. They explain how first in 1752, and later in 1772 the San Blas Gully burst its banks and washed away the walls of the San Carlos Fortress, which lay at the crossroads between what is now Calle Ramón and Cajal and Calle Canalejas. The San Blas Gully was diverted and a new riverbed was opened up to channel the rainwaters where Óscar Esplá Avenue now stands (the channel that was provided for the city at the end of the 1970s, with 2,000 mm piping, which proved insufficient for the 1982 and 1997 floods).

4.2.1. First historic activities taken on the drainage

The activities carried out to divert the waters of the Canicia Gully were the first major urban drainage works to be performed in the City of Alicante. They were undertaken at the end of the 18th Century, after the period of torrential rain on 7 November 1791. The damage caused to what is now the Plaza de Chapi, the convent of the Capuchin nuns and the commercial stores in Calle del Barranquet, led to the construction of a ditch to drain away floodwaters. The total cost of the works came to 58,056 *reales de vellon* (Ramos Hidalgo, 1984). When the new city walls were constructed for the city in 18th Century, the works included digging a ditch that could later be used as an evacuation system for dirty water.

Thanks to the two drawings by Manuel Miralles (sic. Manuel Mirallas) entitled “Plan of Alicante and surroundings” and “Ichnographic geometric plan of the City of Alicante wharf”, it is known that there were at least two piping systems for the sanitation network, whose contents flowed into the sea to the west of the original wharf, and two more piping systems that poured sewage into the sea to the east of that wharf; the latter drawing shows a project that was never carried out, and both drawings date back to around 1794 (Aguilar, 2012).

Another approach to the development of the sanitation network involved reviewing income and expenditure in 1797, indicated by Jover, where there is no item set aside for sewerage, although there is a minimum allocation for Works and Conservation. Jover also makes reference to the budget for the La Mina collector in 1787, as well as the sewerage budgets for the following streets: Calles Mayor, San Francisco, Blasco (now Pascual Blasco),

Castaños, Bailen and San Fernando in 1859 -1863. When referring to these works midway through the 19th Century, Jover states: “... *thought was given to perfecting the sewer system and other underground works, because they had been neglected in the past*”.

4.2.2. *The growth of the Port of Alicante and its impact on urban drainage*

Becoming the headquarters of the Consulate of the Sea in 1785 and capital of the province in 1822, plus the arrival of the railway connection to Madrid in 1858, all helped to boost trade and eventually led to the long-awaited port enlargement plans, with the construction of the new Poniente wharf that completed Alicante's dock facilities. However, the construction of that wharf, completed in 1873, was to prove to be the city's greatest sanitation problem for 40 years, together with the depleted drinking-water supply and the crowded and unhealthy housing for workers (Salort, 2005).

That “*immense black hole*”, as it was referred to in the project mentioned below, was completed after the “Works Project for Sanitation of the Port of Alicante and its maritime zone” was performed in 1905 by the Port Engineer Ramón Montagut after the end of the works certificate was received by Alicante County Council on 31 August 1914 (Salort, 2005).

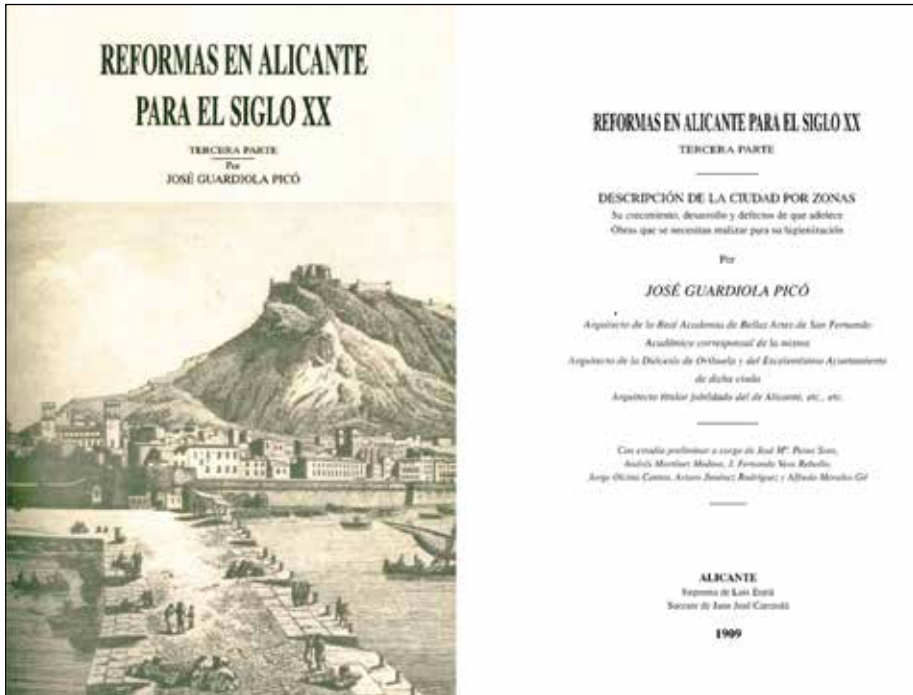
4.2.3. *The Architect José Guardiola's Plan*

During the 19th and 20th centuries, in the middle of the Hygienism Period, the architect Guardiola Picó considered in his work “*Reformas en Alicante para el siglo XX (Remodelling Alicante for the 20th Century)*”, a series of ideas for creating a city with a view to preventing one of its problems: the lack of drainage networks. Guardiola himself pointed out that “*the main cause of our problems lies in the poor state of the riverbeds*”. He defended the need to provide the city with a network of sewers that would put an end to the proliferation of cess pits, while at the same time acting as a drainage network to prevent flooding in the lower areas of the city. According to Guardiola, the cause of this problem was clear: because of its location close to the sea and the slopes associated with a series of hills that surrounded the urban sprawl (San Julian, Benacantil and Tossal), Alicante was in a good position to drain away waters.

Guardiola made an accurate diagnosis of the flooding problem in the lower zones of the city and put forward the idea of improving the series of urban water traps so that they could rapidly drain away the rainwater and prevent

the problems that, according to the author, had troubled the city in the last decade of the previous century: *“the huge flood that reached the Capuchins Convent, even though it was at a considerable altitude, and that did so much damage to the lower zone”*.

Image 4. Modifications to Alicante for the 20th Century. José Guardiola Picó



Source: Publication prepared by COEPA (1999).

Guardiola proposed using the aforementioned system of *“by-pass ditches”* to improve the conditions for draining away rainwater. That is to say, the sewerage network. To a large extent, this idea was the precursor of the solution that was eventually implemented in the city as part of the Flood Prevention Scheme for Alicante, a century later.

Ever since then, constant improvements have been made to the sewerage network. However, this has not gone hand-in-hand with a parallel rainwater network that enables the discharges to flow away quickly in very heavy rain, and is essential in the urban settlements along the Spanish Mediterranean Coast. The floods of October 1966, October 1982 and September 1997 brought to light the need for a stormwater network in the City of Alicante.

4.3. Recent history and singular incidents

The October 1982 flood in the City of Alicante, which occurred during the same period as the “Tous Dam disaster” and the serious flooding along the banks of the River Jucar, proved to be a turning point in citizens’ attitudes towards these types of hazardous climate and hydrology phenomena. The serious effects of this downpour (233 mm/24 h), the second highest recording for daily rainfall in the City of Alicante led, for the first time in the city’s history, to an awareness and protest movement directed at the Authorities responsible for Local Government, demanding that measures be taken to ensure that these types of spells would no longer have such catastrophic consequences. It must not be forgotten that this the city centre was badly affected during that period by the rapid rising of the waters in the Canicia Gully and the drainage traps that descend from Mount Tossal and Mount Benacantil. The San Gabriel district was also affected by the sharp rise in the water level in the Ovejas Gully.

After that major period of flooding in the city, the floods after the heavy rain in November 1984, 1985, September 1986 and November 1987, caused much less damage and the City of Alicante was only partially affected in different urban sectors. In those cases, the focal point of the intense rain was not the Borough of Alicante, which is why the consequences of these spells were not nearly as serious as the damage recorded in 1982.

Image 5. Effects of the rapid water rise in the urban gully of S. Agustín-S. Blas in the San Blas District (Alicante) during the flooding of 20th October 1982



There was considerably more damage at the beginning of September 1989. In this case, the rainfall intensity and the fact that the precipitations were falling directly on the city and municipality of once again caused damage in the urban areas of Vistahermosa, La Albufereta and Santa Faz, because the Orgegia and Juncaret Gullies overflowed. The Bonhivern Gully also burst its banks and affected the FGV railway station (La Marina train) the Postiguet area and the Avenida de Elche, around the southern exit from the city.

Table 6. Periods of heavy rain flooding the city and the municipal area of Alicante in the 20th and 21st Centuries

Date	Rainfall (and intensity per hour) in mm
23 rd , September 1906	50 mm
28 th , November 1916	71 mm
20 th , August 1929	25.6 mm (105,6 mm/h)
18 th -19 th , September 1929	51.5 mm (294 mm/h)
25 th , September 1931	34.5 mm
1 st , November 1934	60 mm
8 th , August 1945	60 mm
2 nd , November 1949	49.5 mm (190 mm/h)
20 th , September 1957	54.4 mm (120 mm/h)
2 nd , September 1959	46.5 mm
28 th -29 th , September 1959	56.4 & 61.5 mm respectively
15 th , October 1962	133.8 mm (305 mm/h)
15 th , September 1963	40.9 mm (150 mm/h)
8 th , October 1966	88.5 mm
4 th , October 1969	65.1 mm
19 th , October 1972	52.7 mm (210 mm/h)
9 th , November 1978	73.3 mm (208 mm/h)
20 th , October 1982	233.1 mm (180 mm/ h)
4 th , November 1987	92 mm
5 th , September 1989	133.6 mm
30 th , September 1997	270.3 mm (154.2 mm)
3 rd , May 1999	35 mm
23 rd , October 2000	55.4 mm
21 st , September 2007	90.4 mm
11 th & 12 th , October 2007	49.7 mm y 42.1 mm
28 th , September 2009	131 mm
18 th , November 2012	55.2 mm
13 th , March 2017	137.4 mm (48.8 mm)

Source: AEMET.

But it was not until 30 September 1997 that the city once again suffered the consequences of a period of torrential rain, which caused damage throughout the urban area. On that occasion, the city registered its highest ever rainfall value in 24 h. (270 mm), establishing a record for cumulative rainfall in one day in Alicante. The spell of torrential rain occurred when the car park was being constructed in the Avda. de Alfonso X el Sabio at one of the points where the city was spreading outwards. This proved to be fortunate in preventing even greater economic damage in the urban area between the Méndez Núñez riverbed and Calle Ángel Lozano, in the lower part of the city (Explanada de España), because the excavation works dug to create the two basement storeys of the car park acted as a huge stormwater tank and stopped the water from flowing into the streets in search of an outlet to the sea. However, the economic damage caused by flooding in the basements, garages and shops was considerable.

Access to the city from the north and south was blocked by the water that had overflowed from the Bonhivern-La Goteta and Ovejas Gullies, respectively.

One urban area greatly affected by the downpour was the San Juan Beach, especially the space between Avda. Costablanca and Avda. de Niza along the promenade. Built on what was once marshland lying behind the dune cord in that coastal area, the drainage is precarious given that there is hardly any slope to help rainwater to drain away. As a result, this entire zone of streets and residential estates lay submerged for several days until special emergency measures could be taken to drain off the trapped waters. La Albufereta was also badly damaged after the Maldo Gully burst its banks.

Image 6. Effects of the overflowing of the S. Agustín-S. Blas Gully in its final stretch in Avda. de Óscar Esplá, Benalúa Railway Station and the National Highway (C.N.-340), during the floods of 30 September 1997



Despite the frequency of flooding and waterlogging in the City of Alicante in the 1980s and, years later, the floods of 30 September 1997, very few urban drainage activities were undertaken in this period of time. In fact, from the publication of the aforementioned works by Guardiola Picó until the Alicante Flood-Protection Scheme was implemented, only partial activities were carried out to solve the flooding problem. They were works on gullies mainly included in the 1986 General Urban Plan or implemented urgently by the Regional Ministry of Public Works –channelling the final section of the Ovejas Gully- after the flooding in November 1987. Other measures remained unimplemented included as actions to be taken in the Spanish Regional Development Plan 1994-1999) for the Autonomous Region of Valencia (channelling the Juncaret and Orgegia Gullies and the Agua Amarga Gully in the Pla de la Vallonga).

The floods of 30 September 1997 marked a turning point regarding municipal concern over the city's flooding problems. The loss of three lives as a consequence of the torrents flowing through the urban area prompted the urgent implementation of the Comprehensive Flood Prevention Plan for Alicante, drawn up jointly by technicians from the Regional Ministry of Public Works and the City Council itself. This Plan largely contained the recommendations given by Guardiola, to construct a series of *“by-pass ditches to collect the waters and direct them into the sea”* so they would not flood the streets. In this respect, there are quotes from Guardiola Picó that seemed to anticipate some of the activities involved in this flood prevention Plan. Thus, when reference is made to the problem of draining the Canicia Gully in the Mendez Nuñez indicates the need to construct *“a very large and well-proportioned collector, into which the rainwater and excess water will flow in excellent conditions and in large amounts, because it would take in a large exterior zone of the population and everything on the right-hand side (towards the Este)”*, which as has already been mentioned, is one of the works envisaged in the above-mentioned plan.

4.4. The paradigm change: from the hygienist view to flood protection and opting for environmental sustainability

The floods caused by thermal inversion on 30 September 1997 brought about a radical change in political activities to defend the city against catastrophic events of this type. In fact, the city became aware of the need to move on from the “hygienist paradigm”, i.e., the construction of wastewater outflow collectors to the “resilience paradigm” to cope with these types of torrential rain periods, which led to the designing of an extensive network of large-capacity collectors to deal with these urban runoff peaks in the best

way possible. One final stage in the history of urban drainage in the City of Alicante was to opt for hydraulic “sustainability”, by developing “flexible” works for drawing off rainwater that also consider the subsequent use of those waters for urban purposes after treatment. It can be said that in two decades, the City of Alicante is now leading the country in urban drainage matters, and that the Public Authorities (both regional and local) and Aguas Municipalizadas de Alicante Empresa Mixta, the company contracted to manage the city’s entire water cycle, have also played an outstanding role, in what could be regarded as highly efficient collaboration, all with a view to improving the quality of life of the citizens in their urban environment.

4.4.1. *The Flood Prevention Scheme for the City of Alicante*

After the floods on 30 September 1997, the Regional Government of Valencia via its Regional Ministry of Public Works, set in motion the “Flood Prevention Scheme for Alicante”, a programme that involved the construction of hydraulic infrastructures in the city and municipal area of Alicante with a view to preventing the effects of exceptional rainfall and flooding in the gullies in urban areas. The Flood Prevention Scheme for Alicante included the following activities in the urban areas of the city, and was allocated an overall budget of 103 million Euros. The River Jucar Basin Authority also collaborated in developing some of these works, specifically in channelling the peripheral gullies of Juncaret-Orgeja and Las Ovejas within the municipal boundaries.

Figure 17. Map of the Anti-Flood Plan



The channelling of several gullies close to the City of Alicante but not within the city limits (Juncaret, Orgegia, de las Ovejas, Bon Hivern-La Goteta, de Canicia and de San Blas) were among the major activities. These activities were generally designed to withstand torrential rainfall on the basis of a 200-year return period.

No less important was the Anti-Flood Plan, which was prepared in a supplementary capacity. It equipped the city with new and large collectors (Via Parque, and splitting of the Pla collector and the General Collector, Playa de San Juan) as well as other further actions (Canalejas Spillway, Draining the southern entrance to Alicante). These works within the urban area have been designed to reduce the flood risk for a 50-year return period. As a whole, the Anti-Flood Plan has created the barriers required to divert and channel the waters from the peri-urban zones so that, on the one hand, those waters do not affect the city and, on the other hand, so that Alicante can be provided with large collectors that can drain away the rain that falls in the city centre.

All these activities took place in two stages. At the first stage, from 1997 to 2001, the works were focused on consolidating the city's main drainage points and on removing some of the main avenues so that the obsolete collectors could be replaced with others that had a greater capacity. The second stage, from 2001 to 2005, involved constructing essential works that were to form part of the ring that enclosed and channelled the gullies.

4.4.2. Actions in addition to the Flood Prevention Scheme for Alicante

These Flood Prevention Scheme works for the city and municipal area of Alicante were supplemented with a series of activities developed by Alicante City Council and Aguas de Alicante Empresa Mixta, which included the following:

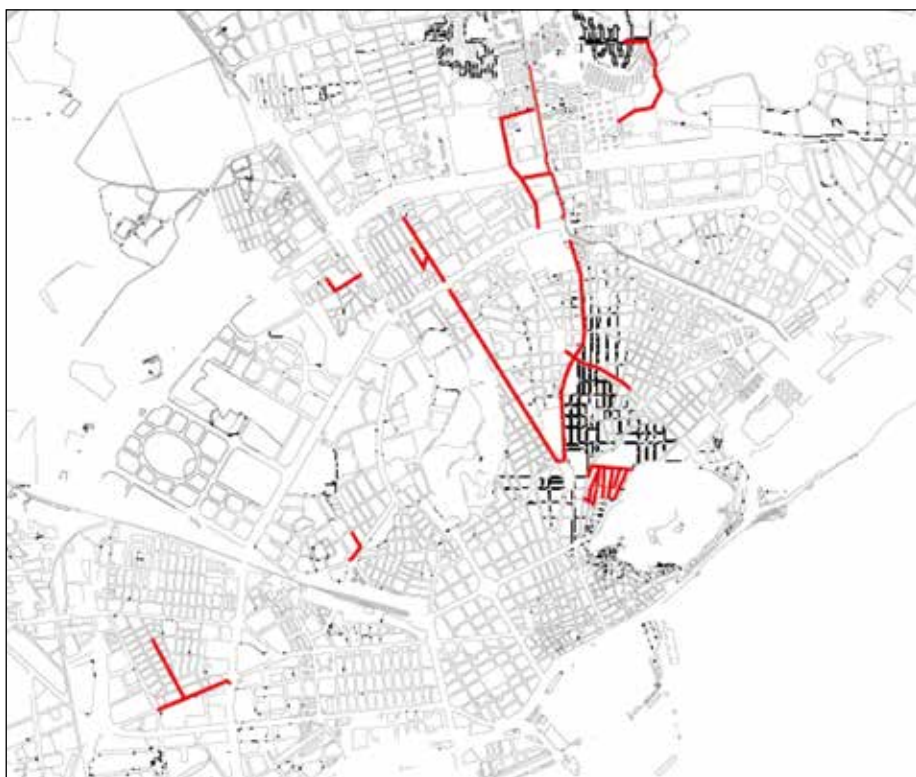
- Renewing the sewerage network works financed by Alicante City Council and FEDER Funds between 1999 and 2000.
- Investment works by Aguas Municipalizadas de Alicante carried out within the framework of the Special Investment Plan 2006-2016.
- Routine annual investment works by Aguas Municipalizadas de Alicante.
- Annual renewal works on the sewerage networks, carried out by Aguas Municipalizadas de Alicante.

In addition to the Anti-Flood Plan developed by the Autonomous Government of Valencia, Alicante City Council planned and promoted between 1999 and

2001, a series of actions and works aimed at improving the rainwater outflow system and connecting a series of secondary sewerage networks to the major rainwater collectors. These works enabled the Council to overcome a variety of local flooding problems, increasing the capacity of the collectors and equipping these zones with sufficient water collection grilles.

Those works, jointly financed with FEDER funds and carried out between 1999 and 2001, were an investment amounting to more than 2,144 million pesetas (approx. 12.88 million €).

Figure 18. Map of the actions taken in the urban zone – Supplementary works



A total of 13.6 Km of gravity collectors were installed/replaced, with diameters ranging from 400 to 2,500 mm., including some rectangular sections. The piping was made of *gres* (stoneware) for the collectors up to 600 mm in diameter, and reinforced concrete for the rest of the diameters/sizes.

Image 7. Replacing general collector for Section I – Driving Ø2500 under the Gran Vía



Image 8. Channelling the sewerage network in Calle Fernando Madroñal – Connection with Parque collector



Numerous hydraulic improvement works were also undertaken as part of the Aguas Municipalizadas de Alicante Special Investment Plan, which was supported by the Alicante Sewerage Master Plan; it included the most pressing needs for improving the City of Alicante urban drainage system.

Aguas Municipalizadas de Alicante has invested approximately 28.9 million Euros on improving and enlarging Alicante's sewerage system within the framework of the Special Investment Plan between 2006 and the present time. It constructed the José Manuel Obrero anti-pollution tank in the San Gabriel district, and a series of collectors that are essential for correctly draining away rainwater were implemented and renewed.

Aguas Municipalizadas de Alicante likewise invests nearly 2 million Euros per year on the sewerage network to implement the improvements that are required but not included in the aforementioned Special Investment Plan; the cost is charged to the firm's ordinary yearly investments. The construction of the Marjal Flood Park and the Port sewerage network are among the more outstanding investments. Several improvements and enlargements to the sewerage remote-control system have also been made, in order to improve the advanced management of the urban drainage; these were also charged to those investments.

In order to maintain and update the network, to ensure that it runs smoothly, apart from managing all the above, AMAEM also runs a replacement fund with an annual amount of approximately 1.2 million Euros, which has enabled it to update the networks in several districts of Alicante.

To summarise, the City of Alicante sewerage network state and capacity has been completely changed over the past 20 years. All that has to be done is to compare the number of collectors with sizes the same as or larger than one metre that there were in 1997 (before the 1997 flood), a total of 42 kilometres for a total sewerage network length of 492 kilometres, with the figure for December 2017, when there were 116 kilometres and 798 kilometres, respectively. This substantial improvement by 74 kilometres of large collectors able to drain away the major discharges that are generated during the heaviest rainfall spells, together with the extra 306 kilometres of network, have considerably improved Alicante's capacity to cope with this type of situation. Proof of this lies in the excellent performance of the networks and the infrastructures constructed during the rains in March 2017 (the third heaviest precipitations recorded since 1938), when hardly any incidents were recorded, and those few reverted to the normal situation almost immediately after the rain stopped. If identical weather conditions had occurred with the networks available in 1997 the consequences and problems would have been much worse.

This investment and improvement effort does not end there. In the coming years improvements will continue to be made to the networks and preparations

will be better organised to face the new challenges and achieve the objectives that a 21st Century city must set itself.

Figure 19. Drainage network in 1997 and 2017



Pipes with a diameter of over 1,000 mm are in red.

4.4.3. *Advanced management of the urban drainage*

Management of the sewerage networks and, in a broader sense, the urban drainage management of our cities has undergone positive changes in recent years, going hand-in-hand with the technical advances spawned by the technological revolution commencing in the final decade of the 20th Century. This major technological breakthrough thus made a major change in the way urban drainage systems in cities are run. They are no longer passive systems, having become active and now form part of what is known as the Advanced Urban Drainage System.

Advanced Urban Drainage management includes not only the network operating processes, but also involves and overlaps with the planning, designing and construction of infrastructures.

The determinants that unequivocally lead to development from a traditional urban drainage system to an advanced management system are associated not only with citizens' increasingly demanding standards of living in urban environments, but also a greater awareness about keeping up environmental **quality standards** not only in the urban environment but also in the environment that is going to receive the effluent from the sewerage systems when it rains, the latter being protected by increasingly stringent regulations (for example, the latest Royal Decree 1290/2014) and social requirements. Furthermore, the gradual aging of city sewerage networks creates new problems that go against the trend towards increased social and environmental quality in 21st Century towns and cities.

The challenges posed by this evolution are considerable because they have to cope with many of the problems that are caused by rain in our cities, not only the blockages in the networks themselves and in the associated infrastructures (e.g. wastewater pump stations or WWPSs), but also the lack of capacity in some collectors caused either by errors in design or insufficient maintenance and the gradual ageing of the networks. Furthermore, they have to be more efficient to protect the environment, to reduce energy consumption and the carbon footprint, and to guarantee the service with the greatest possible capacity, minimising the effects on normal city operations and on citizens' lives (interruptions to traffic, unpleasant odours, floods, etc.).

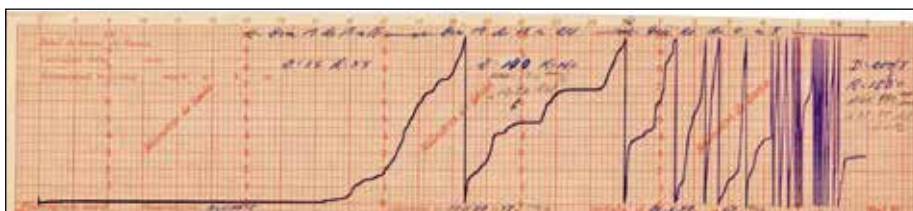
The tools available to the network operators enabling them to perform advanced network management, are closely linked to a variety of aspects. Such aspects range from an accurate and exhaustive knowledge of the system, its state and operation, the interactions between the urban drainage system and other associated subsystems, such as treatment plants and the receiving medium, to real-time management or resilience to changing external determinants that are becoming increasingly restrictive.

Two essential tools form the basis of advanced network management when it comes to responding to the requirement to be familiar with the system and the way it performs. One of these tools is the Geographical Information System (GIS), which enables the user to graphically characterise the sewerage network elements (wells, collectors, pumping stations, etc.) and to associate the main data through databases. The other tool is the hydraulic modelling system, which enables the user to know how the new networks are performing, even before they are constructed, and their relationship with the existing network, or to check the general performance of the existing infrastructure when faced with different rainfall events.

In this sense, a major factor that make it possible to obtain detailed knowledge about the rainfall that acts on the City of Alicante sewerage network, was the study conducted by Aguas de Alicante in 2003, involving the digitalisation of the rainfall series recorded at the Ciudad Jardín Meteorological Observatory (belonging to the State Meteorological Agency AEMET) since 1938. These series rate the cumulative rainfall continuously at rainfall intervals of up to 10 minutes, and enable the user to study and then analyse statistics for the data they contain, so that it will be possible to generate the rainfall pattern curves for the City of Alicante. All in all, the process of digitalisation of this rainfall involved extracting from databases and inserting into them, no less than 27.624 items of rainfall data recorded at 10 minute

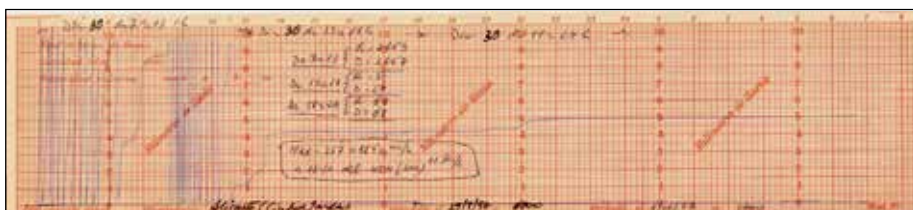
intervals, stored on paper for more than the 65 years included in the time series.

Figure 20. Rainfall graph of the precipitations collected at the Ciudad Jardín Observatory on 20/10/1982



Source: Rainfall graphs scanned by AMAEM coming from the Ciudad Jardín Observatory.

Figure 21. Rainfall graphs scanned by AMAEM coming from the Ciudad Jardín Observatory 30/09/1997



Source: Rainfall graphs scanned by AMAEM coming from the Ciudad Jardín Observatory.

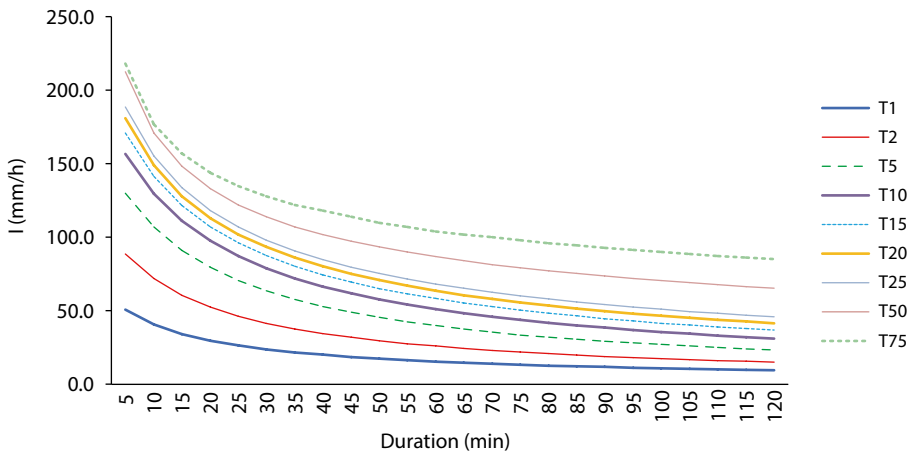
Aguas de Alicante was able to generate the IDF (Intensity-Duration-Frequency) curves for the city from the statistical study of the aforementioned rainfall data. That is to say, it obtained the mathematical relationship between the intensity of the rain that fell in the city, the duration of the precipitations and the frequency of their occurrence. The graph of that relationship is shown in figure 22.

The real-time management will be determined by the existence of a remote monitoring and control system, which will include, amongst other things, the instrumentation for detecting problems or relief discharges affecting the system, or for remotely controlling infrastructures associated with the network, such as pumping stations, sluice gates, etc.

Advanced management also includes the network maintenance area, which in this case seeks to keep the sewerage system in the best possible state of repair and operation, optimising management of the means and resources available and prioritising prevention. Tools for supporting the decision are

needed to carry out this task. Such tools must enable the user to know how network ageing is evolving and how to optimise replacing and repairing, as well as how to optimise network cleaning on the basis of how quickly the networks are liable to get dirty.

Figure 22. IDF curve for the City of Alicante, obtained from the statistical study based on the actual data obtained from the Ciudad Jardín Meteorological Observatory from 1938 to 2003



One final and very important point for advanced urban drainage management is proper risk management of the urban drainage when faced with extreme rainfall or potential system dysfunctions that could alter the quality of the receiving environments or the treatment plants themselves.

When performing the task of protecting against flood risk in urban areas, it is first necessary to make the required investments in the infrastructure for minimising risks, and secondly, to develop comprehensive risk management plans or adopt forecast and alert systems for extreme events that will stretch network operations to the limit.

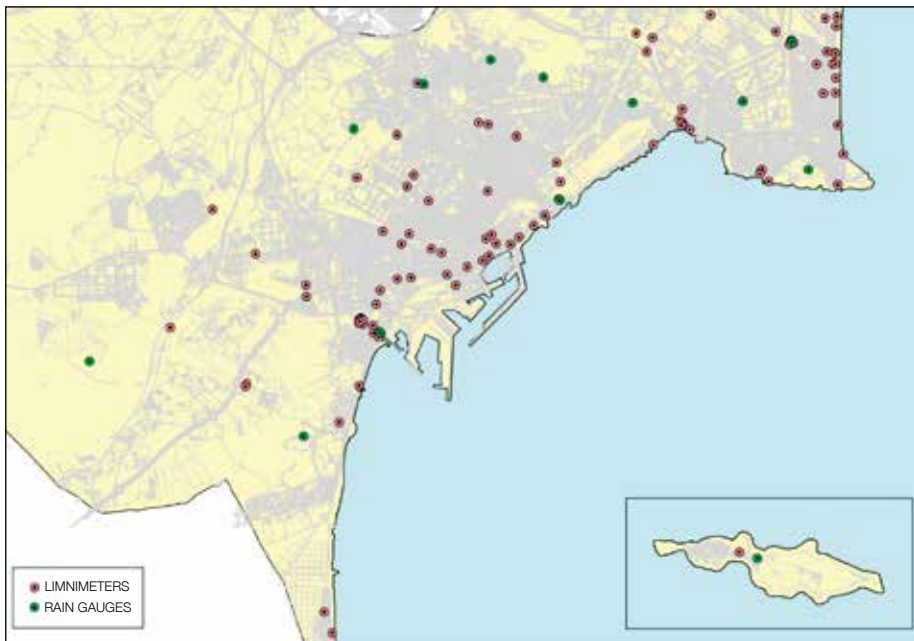
The solutions for risk management when faced with exceptional events consist of setting up technological systems for predicting them, early warning and/or monitoring them. These tools or technological systems are based on the following:

- Weather forecasting.
- Real-time control over rainfall.

- Controlling the levels or flow rates inside the collectors.
- Alert concerning possible relief discharges that might affect the receiving environment in dry or rainy spells.
- Control over industrial discharges into the sewerage networks.
- Modelling the performance of the receiving environments when relieving the sewerage systems.

Aguas de Alicante has now installed many gauges and sensors in the city's sewerage network, designed to solve the risk management problem using technological systems. This enables the firm to control in real time, the discharges flowing through and the prevailing in the urban area and its surroundings. Therefore, 24 rainfall gauges have been installed (12 of them in the city itself) in the municipality, plus 102 limnimeters (measuring the fluid level) all located within the sewerage network, pumping stations, gully river-beds and the interior not only of the infrastructure associated with the San Gabriel Anti-DSU (Anti Unitary-System Discharge, in English) tank but also the San Juan Beach Flood Park.

Figure 23. Spatial distribution of rain gauges (in green) and limnimeters (in red) in the City of Alicante and the Island of Tabarca



In summary, advanced management in the 21st Century has to be based upon certain tools or technological systems in order to be able to tackle management in a modern, sustainable, effective and efficient way that puts to best use the technology and knowledge available, and this must always take place using a sustainable development approach; these tools and technological systems are:

- Geographical Information Systems (GISs) and Databases (constantly updated, e.g. YV camera inspections, network cleaning, etc.).
- Awareness and understanding of the environmental conditions (rain-fall, seepage, etc.).
- Hydraulic modelling.
- Modelling the behaviour of the receiving environments in the face of sewerage system relief discharge events.
- Risk planning and emergency management plans (alert and action protocols, coordination, emergency drill, etc.).
- Instrumentation to detect problems or system relief discharges (in real time).
- Tools to support decision-making to estimate network developments and optimising repairs and replacements in the network.
- Tools for optimising network maintenance and cleaning on the basis of how quickly they are liable to get dirty, guaranteeing that the networks are invariably at their full hydraulic capacity.
- Remote monitoring and control over infrastructures associated with the network (e.g. pumping stations, sluice gates, specific water retention structures such as anti-pollution tanks, anti-flood tanks, etc.).

All these tools will continue to develop and adapt to any new challenges that might have to be faced. We have to make our cities resilient, and this must be associated with the performance of the drainage structures, involving the whole society in this challenge. From that perspective, we can all make a contribution, by not throwing into the lavatory any elements that might constitute a risk to the network operations, such as “wipes and sanitary towels”,

or litter the streets with any objects that could restrict the ability of the drains to work as they should, etc.

4.4.4. Singular actions: the José Manuel Obrero anti-pollution tank and the La Marjal Flood Park

Using rainwater held back in tanks or in flood parks, is an extremely interesting way to alleviate the natural shortage of water resources and to increase Mediterranean areas' resilience to the potential effects of climate change. Further advantages would have to be added to this possibility, including the fact that such resources are renewable, they can be obtained locally (which solves the problem of conflicts between territories over the use of resources), access (initially this is free of charge) and relatively easy availability, as long as they are adopted on a domestic level and associated with water-harvesting strategies and sustainable urban drainage.

The potential use of rainwater held back by these types of "supplementary" structures that do not constitute a radical transformation of the urban layout, is also an intelligent way of adapting to climate change and its possible effects in the Mediterranean area, i.e., greater rainfall irregularity and greater rainfall intensity (greater runoff) and more long-lasting dry spells (water shortage).

Aguas de Alicante has developed two constructions of this nature in the City of Alicante that have come to epitomise good urban runoff management practice and the potential use of rainwater. The José Manuel Obrero tank in the San Gabriel district and the La Marjal Flood Park in the urban part of the San Juan Beach. With these devices, not only does the runoff from the heavy rains that fall on the city help to increase the water resources available but also helps to reduce the risk of flooding. Furthermore, there is the environmental benefit of these devices preventing the rainwater from cleaning the already polluted streets, and thus temporarily increasing pollution and contaminating the beaches by letting the water flow there without being treated first. This is a major factor if one takes into account the economic importance of the "sun and beach tourism" that is so highly-developed in many cities on the Spanish Mediterranean Coast, including the City of Alicante.

José Manuel Obrero Anti-Pollution Tank

As is the case with most of our cities, the sewerage networks have a predominantly unitary operation, i.e., one in which the rainwater has to flow

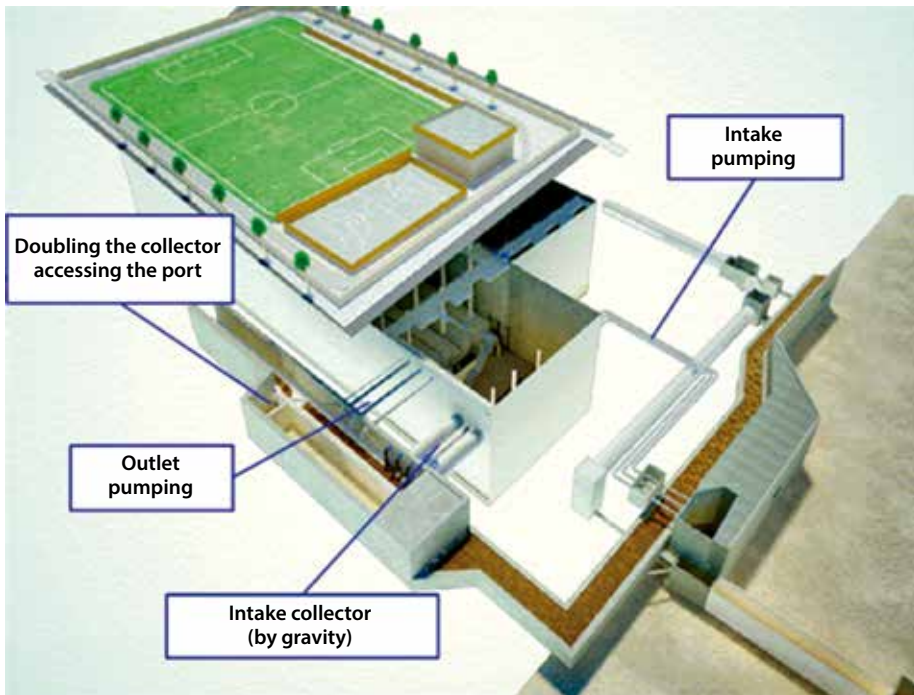
out through the same collectors as the waste water. There are several drawbacks to this system, the main one being the fact that it is impossible to separate the two water types, rain and waste, once they have mingled.

In the case of Alicante, where the percentage of these unitary networks is currently 86%, there has always been a problem in the Cros-San Gabriel zone, because this is the area where both the rainwater and waste water concentrate, and this generates a basin of around 1,250 Hectares, which amounts to approximately 50% of the city's urban zone. This, together with the fact that this part of the city receives intense rainfall and has average or steep slopes, means that high discharges are generated at the end of the basin, which are greater than the capacity of the pumping stations and the treatment possibilities of the Rincon de Leon Plant, not because these are undersized, but because of their previously mentioned inability to treat such flows and volumes when the water is mixed.

Until the water types are completely separated, i.e., the rainwater flows through certain collectors and the waste water through others, the situation in most of our cities will carry on causing problems. However, we can mitigate these problems by constructing retention infrastructures that are able to temporarily store large volumes of water, while at the same time being capable of holding back most of the entrainment that is generated inside the collectors during a rainy period, hence the name "anti-pollution" or "Anti-DSU" (Anti Unitary-System Discharge, in English) that is given to tanks like the one constructed in the Cros – San Gabriel District, by Aguas de Alicante between summer 2009 and April 2011.

The Cros – San Gabriel Anti-Pollution Tank, also known as the "Ingeniero José Manuel Obrero" Tank, in honour of one of the people who worked hardest to ensure that this tank would now become a reality, has a storage capacity of 60,000 cubic metres (20 Olympic swimming pools), lies under the Juan Antonio Samaranch Sports Complex, and since Autumn 2011 has made a major contribution to reducing the outflows from the sewerage network to the Ovejas Gully. In the past 5 years, more than 2,000,000 cubic metres of water have been collected in this tank. This has not only prevented the water from flowing into the gully, but has also enabled it to be sent little by little to the treatment plant after each rainy spell, so it can be used for irrigation or watering the green areas of the city.

Figure 24. Drawing of the José Manuel Obrero Anti-Pollution Tank



The investment was made as part of the Aguas de Alicante Special Investment Plan with a total allocation of over 55 million Euros, of which 15 million were earmarked for the construction of this singular tank, which now forms part of the heritage, albeit hidden from view. It will continue to provide environmental benefits for our city for many years to come.

This type of infrastructures has innumerable high-technology facilities and items of equipment, because everything is remotely controlled, and it operates around the clock, every day of the year, always prepared to come into operation whenever it is needed. The equipment includes, among other elements, 20 hydraulic pumps for driving or extracting the built-up water with an installed capacity of 500 KW, extraction turbines and air renewal with a capacity for 36,000 m³/hour, 9 water-level gauges, 16 gas detectors, sluice gates, tanks with regenerated water for cleaning, fire-fighting systems, switchboard and remote-control rooms, an 880KVA transformer room, 550 KVA power unit, etc.

Image 9. The José Manuel Obrero Anti-Pollution Tank operating after a period of heavy rain in the City of Alicante



La Marjal Flood Park

On other occasions the problems to be solved are not caused by unitary-system networks, we can sometimes find that collectors overflow or there is local flooding with separate rainwater networks. This is the case with the zone known as “Hoyo 1” close to the “Alicante Golf” Golf Course, on the San Juan Beach in Alicante. Before the La Marjal Park was constructed, flooding used to take place owing to the lack of capacity of all the rainfall collectors in the zone, which often filled right up during downpours which, together with its location in a relatively low-lying zone, made it difficult for surface runoff to flow away down the roads, leading to local flooding in the vicinity.

Constructing the park made it possible to connect the Hoyo 1 low point and the Park itself via a large-capacity collector, in such a way that the waters would flood the Park with a maximum of 45,000 cubic metres before the Hoyo 1 zone was flooded, so the residential areas in the latter would not be damaged.

Apart from fulfilling this hydraulic function, the Park plays an important social and environmental role, as it is a recreational zone. It is also a new green zone with a large number of plant species and fauna, making it an ideal spot and a very pleasant place to visit.

These works were built in 2014 and Spring 2015, when the Park was opened to the public. Aguas de Alicante invested around 305 million Euros in creating the entire works, including the new collectors and the grilles laid in place to prevent Hoyo 1 from being flooded.

The La Marjal Flood Park is an exemplary work when it comes to overcoming hydraulic problems due to flooding while at the same time generating sustainable urban solutions. As a result, it has been critically acclaimed and was granted “the best landscaped works with the greatest respect for the environment” in the Province of Alicante in 2015, at the 13th Award of the Public Works Federation for the Province of Alicante (FOPA). It was also awarded the 23rd Alhambra Prize, granted by the Spanish Public Parks & Gardens Association, and is currently nominated for Habitat Best Practices which is awarded by the UNO every two years.

Figure 25. Diagram of the La Marjal Flood Park (San Juan Beach, Alicante) in its usual state and when holding back the waters



Image 10. General view of the La Marjal Flood Park (San Juan Beach, Alicante)



In the two years that the Park has been open, heavy rainfall has caused floodwaters to enter it four times, thereby preventing flooding in the Hoyo 1 zone. The most recent case was during the rainy spell on 13th March 2017, when over 15,000 cubic metres of water flowed into the Park, when 92 litres per square metre fell in the San Juan Beach zone.

From an environmental perspective, this Park is also run with the greatest respect for all the plants and animals that live there. Thus, completely natural and sustainable treatment is given to the water, to ensure that the regenerated water remains at the same level. Furthermore, nests have been installed for bats, coots, house martins, swifts and other species of small birds that can control the number of insects in the Park. Since it was opened, ducks and many of the aforementioned species have nested, and even kingfishers have been sighted in the Park. All of this makes it a pioneer in design and function, and an example to be followed in many of our cities.

Image 11. Effects of filling La Marjal Flood Park with 15,000 m³ during the period of heavy rain on 13th, March 2017



4.4.5. Flood risk diagnosis for the City of Alicante: the very rainy spell on 13th, March 2017

Completed in 2005, the series of works included in the Anti-Flood Plan for the city and municipality of Alicante (construction of large collectors) and the supplementary actions developed subsequently managed to considerably reduce the risk of flooding. Only one downpour *in situ* with a level greater than 400 mm. in a 2-hour period, which fell directly within the city boundaries, managed to exceed the capacity of the rainfall outflow network installed. It was a precipitation volume unregistered in the City of Alicante since meteorological records were first kept (1855). Although such quantities could have fallen before in other Spanish Mediterranean zones, where there are records of similar volumes falling in less than 6 hours.

Since the floods of September 1997, the City of Alicante had not experienced a spell with such large amounts of rain concentrated in a short period that could put to the test the urban drainage works developed in the past two decades. In March 2017, on the 13th, a spell of torrential rain fell on the City of Alicante and the rest of the municipality. It was a singular phenomenon given that such events do not normally occur in the winter months. However, its origins must be explained within the context of a rather exceptional Autumn-Winter 2016-17 along the Spanish Mediterranean Coast, especially the southern part, which had unusually frequent spells of torrential rain (Malaga, Murcia, Alicante, south of Valencia). This was a consequence of an atmospheric readjustment due to the completion of a very intense El Niño event in the Pacific Ocean and the beginning of a positive phase in the North Atlantic oscillation, which was conducive to a recurrence of situations of great instability in that part of Spain.

All in all, although the period of torrential rain that fell on March 13th 2017 did not reach the rainfall amount recorded in October 1982 and September 1997, it was the third highest value for rainfall in 24 hours ever to be recorded in the City of Alicante, with an outstanding hourly rainfall intensity; this made it sufficient to analyse the effectiveness of the drainage activities performed in the city since 1997.

What took place on that day was a spell of torrential rain in the City of Alicante and the municipalities of the L'Alacantí zone (San Vicente del Raspeig, San Juan, Mutxamel and Campello) owing to highly unstable atmospheric activity prompted by the arrival of a pocket of cold air in the medium and high layers of the atmosphere ("cold drop" atmospheric configuration). It led to a period of torrential rainfall with record rainfall registrations for a 24-hour period at the official Ciudad Jardín Observatory, and hourly intensity values above 40 mm/1 hour. This caused water to overflow the gullies and dry riverbeds in the district of L'Alacantí and waterlogged areas formed in the low zones of the area affected by the storm.

The Alicante Observatory itself (Ciudad Jardín) recorded a volume of 136.6 litres per square metre throughout the whole day. However, the rainfall reached its peak between 18 and 21 h. on that day, which was when 70% of the total rain recorded fell.

Furthermore, between 18 and 20 h. the precipitations reached a very high hourly intensity, as can be seen from the official data recorded at the Alicante Observatory (Ciudad Jardín), 48.8 litres per square metre in 1 hour, during this period; and also the cumulative data of 23 litres in just 10 minutes.

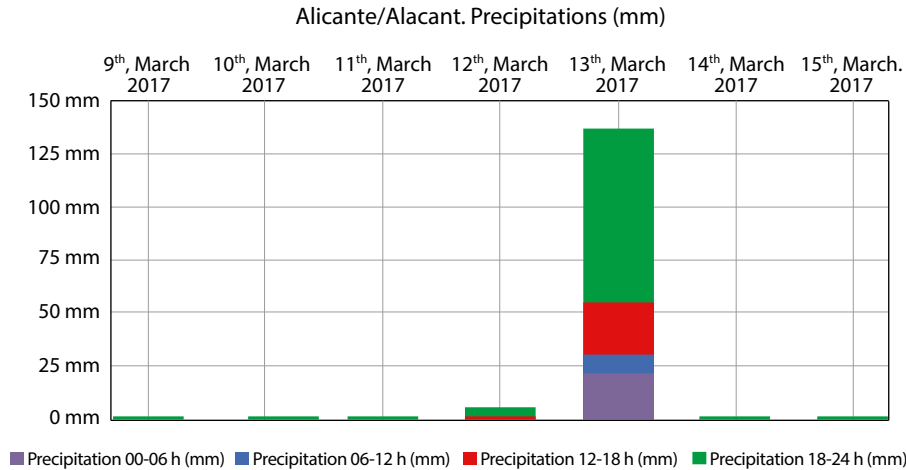
This was an event with a very high hourly intensity, which meant that major quantities of water built up in a short space of time.

Table 7. Intense rainfall values recorded at the Alicante Observatory (Ciudad Jardín) during the spell of heavy rain that fell on 13th March 2017

Day	Max. T. (°C)	Min. T. (°C)	Aver- age T (°C)	Gust (km/h)	Max. S. (km/h)	Pr. 00- 24 h (mm)	Pr. 00- 24 h (mm)	Pr. 00- 06 h (mm)	Pr. 12- 18 h (mm)	Pr. 18- 24 h (mm)
	(Hour)	(Hour)		(Hour)	(Hora)					
15 th , March 2017	18.4 (14:10)	8.0 (06:10)	13.2	37 (10:40)	22 (14:00)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14 th , March 2017							0.2	0.0		0.0
13 th , March 2017	13.6 (23:20)	8.0 (07:40)	10.8	61 (17:20)	28 (17:30)	137.4	21.4	8.4	24.6	83.0
12 th , March 2017	22.0 (14:00)	12.2 (03:10)	17.1	23 (22:10)	12 (15:50)	4.8	0.0	0.0	0.0	4.8
11 th , March 2017	22.3 (14:50)	9.8 (06:50)	16.0	17 (14:20)	10 (15:00)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10 th , March 2017	32.5 (12:50)	14.0 (23:59)	23.3	33 (13:40)	20 (13:40)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9 th , March 2017	27.4 (14:30)	10.5 (04:30)	18.9	19 (12:40)	1313 (12:40)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Source: AEMET. Ciudad Jardín Observatory (Alicante).

Figure 26. Hourly cumulative rainfall intensity graph at the Alicante Observatory (Ciudad Jardín) during the spell of heavy rainfall on 13th, March 2017



Source: AEMET. Ciudad Jardín Observatory (Alicante).

The rainfall values recorded in 24 hours in the district at other stations belonging to amateurs (AVAMET⁷, Meteoclimatic⁸) or official public bodies, but not incorporated into the AEMET observatory network, were also very high:

- San Vicente del Raspeig: 171 litres per square metre.
- Climate Laboratory (University of Alicante): 200 litres per square metre.
- Agost: 139.3 litres per square metre.
- Alicante (Cabo de las Huertas): 134 litres per square metre.
- Alicante (San Juan Beach): 138 litres per square metre.
- San Joan d'Alacant: 127 litres per square metre.

The area that yielded the highest concentration of precipitations and hourly intensity on the afternoon of 13 March, was along the strip running from the City of San Vicente del Raspeig-San Joan d'Alacant- San Juan Beach. Considerable damage was caused in this strip of land, especially the area between San Joan d'Alacant and the San Juan Beach, mainly due to local homes, buildings and shops being flooded. The amount of water recorded caused special problems in the zone between the Hospital de San Juan and the "Hoyo 1" urban area near the San Juan Beach, and the coastal strip of the San Juan Beach, to the north of the Avenida de la Costa Blanca.

The anti-pollution tank in the San Gabriel district reached its highest ever level as a result of that rainy spell, which meant that the structure managed to store 60,000 m³ of waters for the purpose for which it was designed, so that amount did not have to flow out into the receiving environment.

Furthermore, the La Marjal Flood Park on the San Juan Beach went into operation at 18:00 on 13/03/2017, and the filling process was completed at 22:30 hours. The total volume of water stored in this infrastructure reached 15,500 m³, approximately 35% of its total storage capacity, which is the maximum amount it has held back since it came into operation in 2015.

The anti-flood collectors also worked well, releasing the rainfall discharges generated in the city centre and the San Juan Beach towards the main surrounding gullies and the sea. The various pumping stations for unitary and rain waters distributed around the city also operated non-stop, reaching their maximum storage and operating levels.

⁷ Available at the link: www.avamet.org

⁸ Available at the link: www.meteoclimatic.net

It must be pointed out that during the heavy rainfall spell on 13th March 2017 there were no problems or warnings associated with the way the hydraulic infrastructure operated in the zones considered to be problematic.

In summary, the spell of heavy rain in March 2017 revealed the quality of these works that prevented major damage to the city and its surrounding area. However, it became apparent that the outflow of floodwaters at the entrance to the Avda. de Denia (former layout of the Bon Hivern Gully) requires larger spillways under the TRAM bridge, near the Plaza Mar 2 Shopping Centre. This period of rain also confirmed that the urban sector around the Avda. de Miriam Blasco in La Condomina needs work to be done to mitigate the waterlogging level reached when it rains more than 30 mm. in 1 hour. Furthermore, the flooding that took place for several days after the rainfall in the San Juan Beach area between Plaza de la Coruña, the Glorieta de la Democracia and the Avda. de Niza, will make it necessary to take further actions to remove the rainwater in an area that is complex because of its surface layout (former marshland) and proximity to sea level.

4.5. Future urban drainage challenges. Urban Sustainable Drainage Systems as measures for adapting to climate change

Climate change is one of the biggest challenges that urban drainage will have to cope with in the coming years. Theoretically climate change is due to both natural and anthropogenic causes, but the United Nations Framework Convention on Climate Change uses the term “climate change” to refer only to changes brought about by humans, such as industrialisation or urban planning (which involve greater use of fossil fuels for domestic air-conditioning, an increase in impervious surfaces, a reduction in the number of natural water masses and vegetation loss).

Rainfall patterns changes are difficult to predict exactly and will vary from one region to another. However, it is expected that the changes will be greater in dry areas and that the areas susceptible to stormy weather will have to face more severe events (IPCC 2007; NCA2009).

Despite the need to urgently replace our energy sources with cleaner and renewable sources to tackle the causes of climate change, we will also have to prepare for present and future climate impacts. Cities' ability to prosper in the face of rapid growth and a changing climate will depend on how they are planned, developed and managed in the coming decades.

Image 12. Monasterio and Plaza de la Santa Faz (Alicante) lying next to the Juncaret Gully. Heavy rain spell on 13th March 2017



Source: Alicante Ambulancias.

This means that there are a series of challenges that must be faced by built-up areas, where impervious surfaces prevent water from filtering down naturally. The conventional or historic drainage infrastructure in most cities is now old, collecting and transporting wastewater and rainwater together (unitary-system), and can prove insufficient and inefficient when it comes to managing these flow rates for which they were not designed, in flood situations (with adverse effects on people and possessions) and discharges from the unitary-systems (DSUs) with impact on the receiving environments (environmental, social and economic impact), which in Alicante's case includes the city's 15 Km. of beach.

Therefore, it would appear to be necessary to predict the magnitude of the effects of climate change on the hydrological cycle in order to be able to design drainage systems adapted to the future. Adapting these systems cannot be based exclusively on constructing a conventional infrastructure (enlarging collectors, constructing containment tanks, etc.), because this could prove economically unfeasible for most cities and may not be the most sustainable solution. In such cases, alternative technologies such as nature-based solutions or Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) should also be considered.

Nature-based solutions generally involve the sustainable use and management of nature to deal with social challenges such as climate change, water management, food security and disaster-risk management. For example, protecting mangroves in coastal zones could limit the risk of erosion associated with extreme weather conditions, while at the same time providing fish farms for producing fish to feed the local inhabitants and capture CO₂. Along the same lines, green roofs or walls could be used in building construction, to cool

down urban areas in summer, capture rainwater, reduce pollution and increase the inhabitants' welfare, while simultaneously improving the biodiversity and connecting cities with a more extensive ecosystem.

When attempting to minimise the negative effects of climate change on the environment and people's health and welfare, territorial and urban planning strategies must pay special attention to the climate information and the distribution of the land into different uses and activities. The objectives have to include predicting and preventing the deterioration of natural resources, endeavouring to make better use of them and adapting cities to the bioclimatic characteristics of the zone. In this sense, the National Climate Change Adaptation Plan proposes several actions including: developing and promoting bio-construction, especially for all public buildings, or assessing the requirements of species and varieties of vegetation in parks and gardens in different climate change scenarios, because green spaces could become increasingly important, especially for counteracting the effects of temperature increases.

Sustainable Urban Drainage is one of the alternatives to the conventional approach that does much more than merely mitigate flooding and manage the quality of urban runoff water. SUDS can be defined as essential parts of the infrastructure (urban-hydraulic-landscape) whose purpose is to make up for the effects that construction and waterproofing cities have on the amount of rainwater runoff generated and its pollution level, by drawing it off, retaining it or filtering it into the ground, so that it does not undergo any deterioration, and even enabling the ground to naturally remove at least some of the contaminant load that it might have acquired during the previous urban runoff processes. All this is done in an attempt to reproduce as accurately as possible, the natural hydrological cycle before urbanisation or man's activities. There are several SUDS types, including the following: green roofs or ecological cover, permeable paving, filtration strips or drains, green roadsides, containment tanks, retaining stations, wetlands, etc.

Image 13. Examples of SUDS



To the left, La Marjal Flood Park in Alicante; in the centre, an example of the green roofing of Chicago City Council and on the right a green roadside.

Source: AIRCUD (Aqualogy International Research Centre for Urban Drainage)

Adopting this innovative, alternative and sustainable approach to rainwater management in urban environments provides a series of added benefits, including the following:

- Reducing the risk of downstream flooding by reducing volumes and peak runoff discharges;
- Less interference with the natural systems in the receiving water masses, in both quantity and quality;
- Improving the way treatment plants operate, by reducing inflows and letting them have a more constant pollutant pattern;
- Reducing the “heat island” effect in cities, counteracting the temperature increase caused by asphalt and concrete surfaces. It has been demonstrated that the temperature in parks of only 1-2 hectares can be 2 °C cooler than the adjacent built-up zones.
- Reducing energy consumption, both in cooling and heating installations, and by reducing the volume of water to be treated in the traditional purification processes.
- Creating habitats that are conducive to biodiversity in cities.
- Increasing the added value of residential areas, thanks to the quality of the landscape in the environment and by providing extra recreational zones and increasing the city inhabitants’ quality of life.

Such examples include: the use of artificial wetlands and ponds, which can be put not only to recreational use, but can also serve to prevent higher temperatures because the water masses reduce heat; bioretention areas that store water on the surface that later evaporates, which can also serve as a means for heat control; or vegetation cover, which contributes to the so-called “oasis effect” in the cities. All of this not only provides vegetation and is conducive to biodiversity, but also helps to cut down on the amount spent on air-conditioning the buildings. Plants play an insulating role so that central heating and air-conditioning are less necessary, reducing energy consumption and energy bills that would increase with hotter cities.

Finally, it is advisable to give a few examples of benefits obtained by such measures: it has been calculated that “New York’s Heat Island Reduction Initiative”, which focuses on increasing the amount of vegetation, especially

through vegetation cover, would reduce the heat island effect in the city by 0.88 °C if 50% of New York’s flat roofs were covered in greenery. Another example is Philadelphia (City of Philadelphia, 2009), where it has been estimated the management of 50% of the impermeable urban surface area with SUDS would provide the city with an income of around 2.8 billion dollars by 2049, thanks to the improvement in air and water quality, creating recreational zones and reducing the temperature in the city.

Therefore, it has been demonstrated that Nature-Based Solutions, in general, and Sustainable Urban Drainage Systems, in particular, are a viable alternative when it comes to facing up to climate change challenges that, as has been shown, will affect (and are already affecting) the management of the urban water cycle, by providing solutions and services with equivalent or similar benefits to conventional infrastructures. In view of this, cities must take such solutions into account now, so that in the future they will be resilient cities.

Image 14. Proposal for green cities of the future according to ARUP



Source: Cities Alive, ARUP 2016

5. CONCLUSIONS

The year 2018 was one of the unusual occasions when an item of meteorological news not related to major disasters —hurricanes, floods, cold spells— managed to make the headlines, because it affected Cape Town, in South Africa, the first city on the planet to declare a Natural Catastrophe owing to a water shortage.

It may sound strange to mention this situation in the conclusions to a study devoted to the impact of climate change in the Mediterranean, but it should be remembered that all the descriptions clearly describe the climate in Cape Town as being “Mediterranean”. As we have seen, the Mediterranean Basin is one of the areas in the world where it is estimated that climate change could manifest itself most clearly in the coming decades, with an increase in extreme temperature and rainfall events (droughts and torrential rainfall). Could Cape Town be an early-warning sign of the future that awaits us?

Not necessarily. If we dig more deeply into the comparison we come up with a surprise: the mean annual precipitations in the capital of South Africa range from 515 mm to 1,310 mm (this variation is mainly due to the major differences between the coastal and mountainous zones). Therefore, we are talking about an annual rainfall that is much greater than Alicante’s and could quadruple its values (about 300 mm). So, in terms of rainfall, Alicante could theoretically represent the future for Cape Town, rather than the other way around. In fact, according to several studies (e.g., Robert I. McDonald *et al.* 2014), most of the large cities in the world at risk of a water crisis would lie in zones where the availability of resources is much greater than on the south-east coast of the Iberian Peninsula.

This comparison can help us to clarify the concept of “water resource shortage” and especially, to reflect upon the idea of resilience that is described in this document. In this context, it is particularly important to review the strategy that has guaranteed water sustainability in Alicante over the past few decades. This is based upon several aspects, namely:

- Diversifying the supply sources (surface water, groundwater and desalination).
- Efficient use of water resources, based on a constant reduction in unaccounted-for water, measurement improvements and citizen awareness.
- Demand management, which makes it possible to understand and predict the factors that affect consumption.

- Making a wholehearted decision to reuse resources for both urban and agricultural purposes, which has also made it possible to improve the city environment by increasing green zones at a cost much lower than for other hydraulic infrastructures.

Two considerations that summarise basic aspects of the case in point must be mentioned:

- To coin the English expression, there is no “silver bullet” to guarantee urban supply; there must invariably be a multi-faceted approach, and even the more specific objectives, such as improving efficiency, are attained with an extensive series of measures (sectorisation, finding leaks, automation, renewing infrastructures, etc.).
- Resilience in managing water resources is a long-term question; the City of Alicante’s success so far, is based upon adapting to a context of shortage, in which the strategies have been adapted in an ongoing and progressive way. It could be said that South-East Spain’s past as a zone lacking in water resources has, paradoxically, provided the area with an advantage when it has had to confront the challenge of climate change.

The aforementioned annual rainfall figures for the City of Alicante may also serve as a reference for summarising the extreme nature of the torrential rainfall spells, if we compare them with the 270 mm collected in the Ciudad Jardin Observatory, or even the 137 mm that fell in March 2017.

Although it is true to say that in this case there have also been such events in the past, it is not possible to refer to any major urban drainage activities before 1997. However, after that year many plans have been coherently implemented that have tackled the challenge of draining away rainwater:

- Regional Government of Valencia Flood Prevention Scheme.
- Supplementary actions taken by Alicante Council to assist the Flood Plan.
- Aguas Municipalizadas de Alicante Special Investment Plan, including the José Manuel Obrero Anti-Pollution Tank and the La Marjal Flood Park.
- Ordinary investment works and network replacement works, implemented by Aguas de Alicante.

Once again, it is necessary to mention that the problem has been tackled in a multifaceted way: none of these actions would have been useful by itself to solve any flood risk. Strengthening the secondary drainage work is neither more or less important than constructing large collectors, because without such drainage the water is not collected and neither does it reach those collectors; and they are obviously necessary to be able to find an outlet for the large volume of water collected. Moreover, none of those measures would have been sufficient in the case of the San Juan Beach if the Flood Park had not been created. Furthermore, advanced management techniques (modelling, gauging, sewerage renewal assistance systems, early-warning systems, etc.) are an essential supplement to the infrastructures.

The ongoing nature of the flood-risk implementation strategies has been vital here, albeit in a period of time shorter than the period for implementing the water resources; the past twenty years have been witness to constant and sustained evolution where the city's drainage is concerned, and the most recent landmark in this development has been the La Marjal Flood Park.

The latter creation is an indication of the direction that sustainable urban drainage systems will probably take in the coming decades, also following the model adopted in other countries. The examples of priorities and initiatives in different cities all over the world can undoubtedly help us when it comes to finding solutions adapted to our situation. Without ceasing to construct other necessary infrastructures —there are no magic solutions here— greater importance will definitely be attached to such constructions, and as is the case with reused water for urban use, they will contribute to changing the city's profile for the better. That triple alliance between resilience, sustainability and quality of life, undoubtedly seems to be the path to follow when facing up to the challenges caused by climate change.

6. INDEX OF ILLUSTRATIONS

Tables

Table 1. Changes in the climate variables in the Spanish Mediterranean regions 2100 time frame	119
Table 2. Temperature increase in Western Mediterranean waters compared to the Valencia Region (1985-2007).....	120
Table 3. Summary of the effects of global warming in Spanish Mediterranean Regions for the purpose of water planning in urban areas.....	124
Table 4. Urban planning challenges for water on the Mediterranean Coast.....	125
Table 5. Comparison between treatment costs in the urban water cycle.....	139
Table 6. Periods of heavy rain flooding the city and the municipal area of Alicante in the 20 th and 21 st Centuries.....	151
Table 7. Heavy rainfall values recorded at the Alicante Observatory (Ciudad Jardín) during the spell of heavy rain on 13 th March 2017	172

Figures

Figure 1. Daily rainfall in Alicante (1940-2016)	113
Figure 2. Rainfall graph for Alicante (20 heaviest rainfall values)	116
Figure 3. Changes affecting intense rainfall. Alicante (2000-2100).	117
Figure 4. Changes in the seasonal rainfall patterns on the Iberian Peninsula from 1976-2005 (below) when compared to the period 1946-75 (above)	121
Figure 5. Changes affecting the “territorial” rainfall patterns in the River Júcar Basin (1958-2010).	122

Figure 6. How rainfall has evolved in the Autonomous Region of Valencia. 2100 time frame	123
Figure 7. Evolution of Water Resources from desalination in the Canales del Taibilla Association supply system, from 2003 to 2015	127
Figure 8. Technical and commercial activities aimed at reducing NRW.....	130
Figure 9. Evolution of the water allocations supplied and the number of contracts 1991 – 2016	131
Figure 10. Evolution for the water supplied 1991 – 2016.....	132
Figure 11. Technical-hydraulic performance in Alicante and by Autonomous Regions.....	132
Figure 12. Technical-hydraulic performance by geographical zones and average age of the network.....	133
Figure 13. Technical-hydraulic performance by geographical zones and average age of the meters	133
Figure 14. Double Urban Network of reused water in Alicante	135
Figure 15. Evolution of urban use of regenerated water and growth of green zones.....	136
Figure 16. Map showing how the City of Alicante evolved up until the 18 th Century.....	145
Figure 17. Map of the Anti-Flood Plan	154
Figure 18. Map of the actions taken in the urban zone – Supplementary works.....	156
Figure 19. Drainage network in 1997 and 2017	159
Figure 20. Rainfall graph of the precipitations collected at the Ciudad Jardín Meteorological Observatory on 20/10/1982.....	161
Figure 21. Rainfall graphs scanned by AMAEM coming from the Ciudad Jardín Meteorological Observatory 30/09/1997.....	161

Figure 22. IDF curve for the City of Alicante, obtained from the statistical study based on the actual data obtained from the Ciudad Jardín Meteorological Observatory from 1938 to 2003	162
Figure 23. Spatial distribution of rain gauges (in green) and limnimeters (in red) in the City of Alicante and the Island of Tabarca.....	163
Figure 24. Drawing of the José Manuel Obrero Anti-Pollution Tank	167
Figure 25. Diagram of the La Marjal Flood Park (San Juan Beach, Alicante) in its usual state and when holding back the waters	169
Figure 26. Hourly cumulative rainfall intensity graph at the Alicante Observatory (Ciudad Jardín) during the spell of heavy rainfall on 13 th March 2017	172

Images

Image 1. Construction of rainwater tanks beneath a recreational zone (public park) in Rotterdam.....	109
Image 2. Urban effect of the “heat island”. Impact of the green zones on mitigating it.....	137
Image 3. Palmeral Park, Alicante	141
Image 4. Modifications to Alicante for the 20 th Century. José Guardiola Picó	149
Image 5. Effects of the rapid water rise in the urban gully of S. Agustín-S. Blas in the San Blas District (Alicante) during the flooding of 20 October 1982	150
Image 6. Effects of the overflowing of the S. Agustín-S. Blas Gully in its final stretch in Avda. de Óscar Esplá, Benalúa Railway Station and the National Highway (C.N.-340), during the floods of 30 September 1997	152
Image 7. Replacing general collector for Section I - Driving Ø2500 under the Gran Vía.....	157

Image 8. Channelling the sewerage network in Calle Fernando Madroñal – Connection with Parque collector	157
Image 9. The José Manuel Obrero Anti-Pollution Tank operating after a period of heavy rain in the City of Alicante	168
Image 10. General view of the La Marjal Flood Park (San Juan Beach, Alicante).....	169
Image 11. Effects of filling La Marjal Flood Park with 15,000 m ³ during the period of heavy rain on 13 th , March 2017	170
Image 12. Monasterio and Plaza de la Santa Faz (Alicante) lying next to the Juncaret Gully. Heavy rain spell on 13 th March 2017	175
Image 13. Examples of SUDS	176
Image 14. Proposal for green cities of the future according to ARUP	178

*The source of the illustrations is AMAEM in all cases where it is not specified
to the contrary*

7. BIBLIOGRAPHY

- AEMA (2012). *Los impactos del cambio climático en Europa: evaluación basada en indicadores*. Informe conjunto de la AEMA, CCI and OMS. Oficina de Publicaciones de la CE and Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid, 240 pp.
- AEMET (2015). *Proyecciones climáticas para el siglo XXI en España*. Available at: http://www.aemet.es/es/serviciosclimateticos/cambio_climatet
- Andrés-Doménech, J.; Hernández-Crespo, C.; Martín, M. & Andrés-Valeri, V. C. (2018). "Characterization of wash-off from urban impervious surface and SuDS design criteria for source control under semi-arid conditions". *Science of the Total Environment*, 612, pp. 1320-1328.
- Arahuetes, A. (2017). *Los recursos no convencionales en el metabolismo hídrico del litoral de la provincia de Alicante*. Doctoral Thesis. Universidad de Alicante (unpublished).
- Arnbjerg-Nielsen, K.; Willems, P.; Olsson, J.; Beecham, S.; Pathirana, A.; Gergersen, I. B.; Madsen, H. & Nguyen, V.T.V. (2013). "Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review". *Water Sci Technol.*, 68(1), pp. 16-28.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2000). "La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30 (monográfico sobre "Riesgos Naturales"), pp. 37-49.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2002). "El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso español y sus alternativas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 33, pp. 79-92.
- Baños Castiñeira, C. J.; Vera Rebollo, J. F. & Díez Santo, D. (2010). "El suministro de agua en los espacios y destinos turísticos de Alicante y Murcia", *Investigaciones Geográficas*, 51, pp. 81-105.
- Barredo, J. I., Saurí, D. & Llasat, M. C. (2012). "Assessing trends in insured losses from floods in Spain 1971-2008", *Natural Hazards and Earth System Science*, 12 (5), pp. 1723-1729.

- Barton, J. & Irrazabal, F. (2016). "Adaptación al cambio climático y gestión de riesgos naturales: buscando síntesis en la planificación urbana". *Revista de Geografía de Norte Grande*, 63, pp. 87-110.
- Burriel, E. L. (2009). "Los límites del planeamiento urbanístico municipal. El ejemplo valenciano", *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 54, pp. 33-54.
- Butler, D. & Davies, J. W. (2000). *Urban drainage*. London, UK: E & FN Spon, 624 pp.
- Calvo García-Tornel, F. (2001). *Sociedades y territorios en riesgo*. Barcelona, Editions del Serbal, Colección "La Estrella Polar", 31, Barcelona, 186 pp.
- Castro-Fresno, D.; Andrés-Valeri, V. C.; Sañudo-Fontaneda, L. A. & Rodríguez-Hernández, J. (2013). "Sustainable Drainage Practices in Spain, especially focused on pervious pavements". *Water*, 5, pp. 67-93.
- CIRIA (2000). *Sustainable Urban Drainage Systems – Design Manual for Scotland and Northern Ireland, CIRIA C521 and Sustainable Urban Drainage Systems –Design Manual for England and Wales, CIRIA C522*.
- Connolly, R. & Connolly, M. (2014). "Urbanization bias I. Is it a negligible problem for global temperature estimates?", *Open Peer Rev. J.*, 28 (Clim. Sci.), URL: <http://oprj.net/articles/climate-science/28>
- Consorcio de Compensación de Seguros (2016). *Estadística de Riesgos Extraordinarios. Serie 1971-2016*. Madrid, 147 pp.
- Consorcio de Compensación de Seguros (2017). *Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones*. Madrid, M-GRAMA, MINECO and Consorcio de Compensación de Seguros, 103 pp.
- Elorrieta Sanz, B.; Olcina Cantos, J. & Sánchez Aguilera, M^a D. (2016). "La sostenibilidad en la planificación territorial de escala regional en España: estudio de casos", *Cuadernos Geográficos*, 55 (1), pp. 149-175.
- ESPON Climate. (2011). *Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies. Main Report*. Available at: http://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/AppliedResearch/CLIMATE/ESPON_Climate_Final_Report-Part_B-MainReport.pdf.

- Fernández, A. E.; Perales, S. & Domenech, I. (2008). "Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana". *IX Simposio de Hidrogeología. AEH-IGME*, At Elche, 1.
- Gil Olcina, A. & Olcina Cantos, J. (2017). *Tratado de climatología*. Alicante. Publications of the Universidad de Alicante, 945 pp.
- Gil-Guirado, S.; Pérez, A. & Barriendos, M. (2014). "Increasing vulnerability to flooding in the southern Spanish Mediterranean coast (1960-2013)", *Hydrological Extreme events in historic and prehistoric times*, Bonn (Germany). At <http://bit.ly/1tmAbNm>
- González García, J. L. (ed.) (2009). *Mapas de riesgos naturales en la ordenación urbanística*. Madrid. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. 101 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014). *Climate Change 2013 and Climate Change 2014*. Available at: <http://www.ipcc.ch/>
- JRC (2009). *The PESETA project. Impact on climate change in Europe*. European Commission. Available at <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/>
- JRC (2017). *Atlas of the Human Planet 2017. Global Exposure to Natural Hazards*. European Commission. DG Join Research Center. Ispra. 92 pp.
- March, H.; Hernández, M. & Saurí, D. (2015). "Percepción de recursos convencionales y no convencionales en áreas sujetas a estrés hídrico: el caso de Alicante", *Revista de Geografía Norte Grande*, 60, pp. 153-172.
- Marcos-García, P. & Pulido-Velázquez, M. (2017). "Cambio climático y planificación hidrológica: ¿Es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación?", *Ingeniería del Agua*, 21,1, pp. 35-52.
- Melgarejo-Moreno, J. & López-Ortiz, M. I. (2016). "Purificación y reuso de aguas en España", *Agua y Territorio*, 8, pp. 22-35, July-December 2016, Universidad de Jaen.
- Ministerio de Vivienda & Colegio Oficial de Geólogos (2008). *Riesgos Naturales. Guía Metodológica para la elaboración de cartografías en España*. Madrid, 176 pp.

- Monjo, R. & Martín-Vide J. (2016). "Daily precipitation concentration around the world according to several indices", *International Journal of Climatology*. DOI:10.1002/joc.4596.
- Observatorio de la Sostenibilidad de España (2012). *Atlas de la sostenibilidad en España*. Alcalá de Henares. Observatorio de la Sostenibilidad en España, Ministerio de Medio Ambiente.
- Olcina Cantos, J. (2007). *Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en España*. Murcia, Instituto Euromediterráneo del Agua, 381 pp.
- Olcina Cantos, J. (2009). "Hacia una ordenación sostenible de los territorios de riesgo en Europa", Farinós, J.; Romero, J. & Salom, J. (eds.), *Cohesión e inteligencia territorial. Dinámicas y procesos para una mejor planificación y toma de decisiones*, Publications of the Universitat de Valencia, Valencia, pp. 153-182.
- Olcina Cantos, J. (2013). "Experiences in adapting to Climate Change and Climate Risk in Spain", *Climate Change Adaptation in practice: from strategy development to implementation* (Philipp Schmidt-Thome and Johannes Klein, eds.), Wiley-Blackwell, pp. 253-268.
- Olcina Cantos, J. & Díez-Herrero, A. (2017). "Cartografía de inundaciones en España", *Estudios Geográficos*, 78 (282), pp. 283-315.
- Olcina Cantos, J.; Hernández Hernández, M.; Rico Amorós, A. M. & Martínez Ibarra, E. (2010). "Increased risk of flooding on the coast of Alicante (Region of Valencia, Spain)", *Natural Hazards*, 10 (11), pp. 2229-2234.
- Olcina Cantos, J.; Baños Castiñeira, C. & Rico Amorós, A. M. (2016). "Medidas de adaptación al riesgo de sequía en el sector hotelero de Benidorm (Alicante, España)", *Revista de Geografía Norte Grande*, 65, pp. 129-153.
- Olcina Cantos, J. & Rullán Salamanca, O. (2017). "Consecuencias ambientales de la actividad económica", *Geografía Humana de España / Romero, J. (coord.)*, Ed. Tirant Lo Blanch, pp. 526-641.
- Olcina Cantos, J. & Vera-Rebollo, J. F. (2016b). "Climate change and tourism policy in Spain: Diagnosis in the Spanish Mediterranean Coast", *Cuadernos de Turismo de la Universidad de Murcia*, 38, pp. 565-571.

- Olcina J.; Saurí D., Hernández, M. & Ribas, A. (2016). "Flood policy in Spain: a review for the period 1983-2013", *Disaster Prevention and Management: an International Journal*, 25 (1), pp. 41-58.
- Olcina, J.; Morote, A. & Hernández, M. (2018). "Evaluación de los riesgos naturales en las políticas de ordenación urbana de los municipios de la provincia de Alicante. Legislación y cartografía de riesgo", *Cuadernos Geográficos de Granada* (in press).
- Paneque, P. (2015). "Drought management strategies in Spain", *Water*, 7, pp. 6689-6701.
- Pastor, F.; Valiente, J. A. & Palau, J. L. (2017). "Sea surface temperature in the Mediterranean climatology, trends and spatial patterns" poster presented at *10th Hymex Workshop in Barcelona* (4-7 July 2017), <http://www.ceam.es/VERSUS/publications.html>
- Perales-Momparler, S.; Andrés-Doménech, I.; Hernández-Crespo, C.; Vallés-Morán, F.; Martín, M.; Escuder-Bueno, I. & Andre, J. (2017). "The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a study in the Valencian Region, Spain", *Journal of Cleaner Production*, 163, pp. S113-S124.
- Pérez Morales, A.; Gil-Guirado, S. & Olcina-Cantos, J. (2015). "Housing bubbles and the increase of flood exposure. Failures in flood risk management on the Spanish south-eastern coast (1975-2013)", *Journal of Flood Risk Management* (DOI: 10.1111/jfr3.12207), pp. 1-12.
- Perles Roselló, M. J. & Cantarero Prados, F. (2010). "Problemas y retos en el análisis de los riesgo múltiples del territorio: propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 52, pp. 245-271.
- Rico-Amoros, A.; Olcina-Cantos, J. & Sauri, D. (2009). "Tourist Land Use Patterns and Water Demand. Evidence from the Western Mediterranean", *Land Use Policy*, 26, pp. 493-501.
- Rodríguez-Rojas, M. I.; Cuevas Arrabal, M. M.; Moreno Escobar, B.; Martínez Montes, G. & Muñoz Ubiña, A. (2017). *Guía para la integración de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el Proyecto Urbano*. Editorial Universidad de Granada, 132 pp.

- Rougé P. & Hernández F. (2016). "El coste de no regenerar". La reutilización del agua en el marco de la economía circular, *Asociación Española de Desalination y Reutilización – Asociación Española de Suministro de Agua y Saneamiento*.
- Saurí, D., Olcina, J., March, H., Martín-Vide, J., Vera, F., Padilla, E. & Serra-Llobet, A. (2011). "Case Study Mediterranean Coast of Spain", in *ES-PON Climate: Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies*. Applied research project 2012/1/4. Final Report. Annex 4. Available at: www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/AppliedResearch/CLIMATE/ESPON_Climate_Final_Report_Annex4_Spain_Case_Study.pdf.
- Saurí, D.; Olcina, J.; Vera, J. F.; Martín-Vide, J.; March, H.; Serra-Llobet, A. & Padilla, E. (2013). "Tourism, climate change and water resources: coastal Mediterranean Spain as an example". In: Schmidt-Thome, Philip and Greiving, Stefan (coords.) Schmidt-Thome, Philip and Greiving, Stefan (coords.): *European Climate Vulnerabilities and Adaptation: A Spatial Planning Perspective*, Willey, pp. 231-252.
- Schmidt-Thomé, P. (edit) (2005). *The spatial effects and management of natural and technological hazards in Europe*. Luxembourg. ESPON, (thematic project 1.3.1.) (available at: www.espon.eu).
- Serrano Notivoli, R. (2017). *Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: ensayo metodológico y aplicaciones*. Doctoral Thesis, unpublished. Universidad de Zaragoza. Facultad de Filosofía y Letras. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Zaragoza, 234 pp. + anexo cartográfico.
- Shaltout, M. & Anders, O. (2014). "Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea", *Oceanologia*, 56 (3), pp. 411-443.
- Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Vargas, J. & Paneque, P. (2017). "Methodology for the analysis of causes of drought vulnerability on the River Basin scale", *Natural Hazards*. 13 pp. DOI: 10.1007/s11069-017-2982-4

- Vera Rebollo, J. F. (2006). "Agua y modelos de desarrollo turístico: la necesidad de nuevos criterios para la gestión de los recursos", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 42, pp. 155-178.
- Vera Rebollo, J. F. & Rodríguez Sánchez, I. (eds.) (2012). *Renovación y restructuración de destinos turísticos en áreas costeras*, Valencia, Publications of Universitat de València, 429 pp.
- Villar-García, A. (2016). "Reutilización de aguas regeneradas: aproximación a los costes de producción y valoración de su uso". *Agua y Territorio*, 8, pp. 70-79, July-December 2016, Universidad de Jaén.
- World Health Organisation (WHO) Regional Office for Europe (2016). *Urban green spaces and health. A review of evidence*, pp. 9-11.
- World Meteorological Organization, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) & UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN (2014). *Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes 1970-2012*. Geneva, Switzerland: WMO.
- Prieto, F.; Campillos, M. & Fontcuberta, X. (2010). "Cambios en la ocupación del suelo en España 1987-2005", *Ecologista*, 65, pp. 40-43.
- Wood-Ballard, B.; Kellagher, R.; Martin, R.; Jeffenes, C.; Bray, R. & Sheffer, P. (2007). *The SuDS Manual*. CIRIA C697. London.

AUTHORS

JORGE OLCINA CANTOS

Professor of Regional Geographical Analysis at the *Universidad de Alicante* and Head of the *Universidad de Alicante* Climate Institute. Currently Chairman of the Spanish Association of Geographers

ANDRÉS CAMPOS ROSIQUE

Technical Office Project Engineer (*Aguas de Alicante*)

IGNACIO CASALS DEL BUSTO

R&D&I Manager (*Aguas de Alicante*)

JUAN AYANZ LÓPEZ-CUERVO

Production Manager (*Aguas de Alicante*)

MIGUEL RODRÍGUEZ MATEOS

Operations Manager (*Aguas de Alicante*)

MONTSE MARTÍNEZ PUENTES

R&D&I Manager of the Urban Drainage Directorate (Suez Advanced Solutions)



www.fundacionaquae.org

NOTES

AQUAE PAPERS

AQUAE
FUNDACIÓN

Nº 8

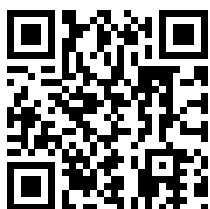
JUNE 2018

8

RESILIENCE IN THE URBAN WATER CYCLE. RAINFALL EXTREMES AND ADAPTING TO CLIMATE CHANGE IN THE MEDITERRANEAN AREA

Authors: Jorge Olcina Cantos, Andrés Campos Rosique, Ignacio Casals del Busto, Juan Ayanz López-Cuervo, Miguel Rodríguez Mateos, Montse Martínez Puentes

Other collaborators: Joaquín Marco Terres, Agustín Plaza Martínez, José Ramón Moya Botella, Luis Cutillas Lozano



In collaboration with:



Colegio de
Economistas
de Madrid

