

Martí Elias, J.M.; Crosas Armengol, C. **Morfología urbana y ciclo del agua en la metrópolis contemporánea: potencial de las condiciones hidrográficas en fragmentos del Área Metropolitana de Barcelona**. A: *Forma urbana y resiliencia: los desafíos de salud integral y el cambio climático: Actas del VI Congreso Internacional ISUF-H*. Madrid: UPM, 2022. ISBN: 978-84-9728-605-3, p. 75-88

## Morfología urbana y ciclo del agua en la metrópolis contemporánea. Potencial de las condiciones hidrográficas en fragmentos del Área Metropolitana de Barcelona

Joan Maria Martí Elias, Carles Crosas Armengol  
 Universidad Politécnica de Barcelona  
 joan.marti.elias@upc.edu, carles.crosas@upc.edu

Palabras clave: Agua / Tejido urbano / Atlas / Hidrografía

### RESUMEN:

La gestión del agua juega un papel fundamental para lograr entornos urbanos más resilientes e integrados con su medio a través de la optimización de sus lógicas metabólicas. Episodios climáticos recientes, en los que sequías o temporales cada vez más comunes afectan al suministro y el equilibrio de las ciudades, constatan la importancia de reformular el uso de este recurso, ligado históricamente al desarrollo urbano. Habitualmente, su rol ha quedado supeditado a otros factores propios del planeamiento, como la estructura y morfología urbanas o la valoración del suelo, y la gestión hídrica ha aparecido como un elemento secundario, condicionado por normativas que responden a escalas diversas. Por un lado, los códigos de edificación sí han avanzado en la regulación a la escala de los edificios; por el otro, el planeamiento territorial también ha incidido tradicionalmente en este aspecto. Pero en la discusión entre las escalas, destacan los tejidos urbanos como espacio intermedio y para ello se quiere profundizar sobre la capacidad de influencia de la forma urbana en la gestión del ciclo del agua.

En las bases disciplinares de esta investigación figuran aproximaciones científicas al análisis de la forma urbana que permite estudiar la ciudad a través de sus partes. Se busca entender el funcionamiento de los tejidos urbanos desde la perspectiva del ciclo del agua y el metabolismo urbano, superando planteamientos inconexos entre edificación y urbanización. En este marco, se huye de la mirada generalista sobre el sistema infraestructural de abastecimiento y saneamiento propio del sistema metropolitano, para poner el foco en lo que consideramos el agua de proximidad, empezando por entender los medios relativos a la precipitación y al consumo a escala local.

La precipitación está sujeta a un régimen estacional, cada vez más abrupto en el paisaje mediterráneo, con menos episodios, pero de mayor intensidad. Esta situación lleva a menudo al límite la capacidad de los entornos urbanos, ya sea para absorber tales cantidades sin ser damnificado, o para conservar este recurso para períodos de escasez. Por otro lado, la producción de aguas grises, procedentes del consumo del agua de red por parte de los habitantes de la ciudad, se considera un recurso por sus posibilidades de aprovechamiento y por la constancia de su producción, siendo éste un flujo continuo que no depende de factores climáticos.

Establecido el origen del recurso se enumeran las acciones que se pueden realizar para una mayor optimización del ciclo del agua en entornos urbanos, estableciendo los parámetros con los que se clasificarán los tejidos. Se consideran tres grandes categorías de acciones: 1/ la conducción, siendo la solución habitual en la actualidad, en la que el agua precipitada es recogida y desplazada; 2/ el almacenamiento para determinados usos que permitan descongestionar la demanda de un sistema que tiende a su saturación, y 3/ la infiltración en el subsuelo. Esta última contribuye por un lado, a la reducción del efecto de isla de calor urbano, atenuando la temperatura ambiental, y por otro, a la recarga de las masas de agua subterráneas, los acuíferos, de los cuales depende en gran medida el equilibrio hídrico del territorio. A partir de una combinación de estas acciones se pueden producir diversos tratamientos, que permitan obtener la calidad mínima necesaria que varía en función del uso que se le da al agua de proximidad.

El estudio de fragmentos urbanos de 500x500 metros dentro del Área Metropolitana de Barcelona se realiza a través de la tecnología GIS a fin de obtener muestras diversas de tejidos urbanos como laboratorio para la comparación de sus capacidades y características, desde la perspectiva de la gestión del agua. La combinatoria de fuentes de catastro, población, planeamiento y mapas temáticos como

el de las coberturas del suelo, permite construir un atlas de tejidos metropolitanos, poniendo especial atención a diversas variables: 1/capacidad de recogida, en función del volumen edificado (m<sup>2</sup> cubiertas), y de la superficie impermeable del espacio urbano (m<sup>2</sup>), ya sea público o privado; 2/ capacidad de consumo y producción de aguas grises – depende directamente de la densidad del tejido urbano (número de habitantes totales en el área) pero también de ciertos modelos residenciales que varían en distritos y municipios del ámbito metropolitano; 3/ gestión de la escorrentía – directamente relacionada con la topografía del ámbito, con comportamientos muy diferenciados en el ámbito de las laderas metropolitanas, en el llano o ámbitos deltaicos; 4/ gestión de la infiltración – directamente relacionada con el porcentaje de superficies permeables, ya sean públicas o privadas, así como la capacidad del subsuelo de absorber el agua, es decir, de la composición geológica del sustrato de la ciudad. La proximidad del nivel freático, así como la presencia abundante de suelos cuaternarios con alto coeficiente de infiltración en las zonas bajas del Área Metropolitana de Barcelona, contrastan con los sustratos rocosos propios de las zonas más próximas a las formaciones montañosas.

A través de esta metodología es posible clasificar los distintos tejidos urbanos a partir de sus características morfológicas, estudiando el volumen edificado, las superficies urbanas, la densidad, el entorno y el sustrato, como un primer paso para abordar la transformación del espacio público y el espacio construido a partir de las dinámicas del agua. El conjunto de casos estudiados muestra interrelaciones interesantes que ponen en relación morfología, topografía y comportamiento social; y pretende ser un primer catálogo para discutir las intervenciones más apropiadas cuando se introducen las dinámicas del agua en la génesis del proyecto urbano.

## 1 INTRODUCCIÓN, ESTADO DEL ARTE E HIPÓTESIS

La gestión del agua desarrolla un papel fundamental para lograr entornos urbanos más resilientes e integrados con su medio, a través de la optimización de sus lógicas metabólicas. Episodios climáticos recientes, en los que sequías o temporales cada vez más comunes afectan al suministro y al equilibrio de las ciudades, constatan la importancia de reformular el uso de este recurso, ligado históricamente al desarrollo urbano. Habitualmente, su rol ha quedado supeditado a otros factores propios del planeamiento, como la morfología o la valoración del suelo, y la gestión hídrica ha aparecido como un elemento secundario. Un aspecto revelador de esta realidad es la escala de las normativas que a ella se refieren. Por un lado, los códigos de la edificación sí que han avanzado en la regulación del ciclo del agua, y por el otro, el planeamiento territorial ha incidido históricamente en este aspecto. Es precisamente en la escala intermedia, la de los tejidos urbanos, donde se plantea este enfoque con tal de profundizar sobre la capacidad de influencia de la forma urbana en la gestión del ciclo del agua.

Esta aproximación ecosistémica des de los proyectos urbanos se contraponen al tratamiento que hasta ahora ha recibido este ámbito en el diseño de las ciudades, que se ha basado en la construcción de redes de infraestructuras cada vez más sofisticadas. Frente a esta perspectiva de un sistema basado en un proceso de continua superposición de grados de complejidad, se propone un planteamiento ecosistémico (Bryant & Turner, 2019) que recoge la máxima de McHarg en *Design With Nature*: “Successfully evolution contains the least work solution. The achievement of evolutionary success reveals syntropic fitness and health of species and ecosystems.” (McHarg, 1971)

Integrar ciclos como el del agua en ámbitos acotados, planteando su desconexión de la red general abre una nueva perspectiva para abordar la gestión del metabolismo a las ciudades. En este caso, se centra el estudio en fragmentos urbanos que responden a tejidos diversos, mediante ámbitos de 500x500 metros, obteniendo una mirada de proximidad que revela nuevas oportunidades a la hora de transformar la ciudad.

En las bases disciplinares de esta investigación figuran aproximaciones científicas al análisis de la forma urbana, como los estudios realizados a inicios de los años 70 desde el Laboratorio de Urbanismo de Barcelona (Solà-Morales, 1993). A partir de una descomposición dinámica de la ciudad material se construye sistema de clasificación que permite entenderla desde sus partes, siendo este un primer paso para intervenir en ella. Reformulando este planteamiento desde el ciclo del agua y su incidencia en el entorno urbano se busca una clasificación que permita determinar diferentes estrategias de actuación en los proyectos urbanos, superando los actuales planteamientos inconexos entre edificación y urbanización, optando por una gestión integral de los ciclos (Grulois et al., 2018).

Se plantea pues, que la ciudad se puede cartografiar, y por tanto, clasificar, des del potencial de gestión del agua de proximidad, mediante el análisis de parámetros que atienden a la morfología urbana (Ranzato, 2017), como un primer paso para abordar el planteamiento de proyectos urbanos.

## 2 EL AGUA DE PROXIMIDAD

Con la mirada puesta en el tejido se trabaja en un ámbito acotado dentro del ciclo del agua en su conjunto. La mirada generalista sobre el sistema infraestructural de abastecimiento y saneamiento propio del sistema metropolitano (Cuchí, 2011) se aparta para poner el foco en lo que consideramos el agua de proximidad. Dicho recurso tiene su origen, en primer lugar, en la precipitación atmosférica sobre el tejido urbano, y, en segundo lugar, en la producción de aguas grises dentro del mismo tejido.

En el contexto del Área Metropolitana de Barcelona, la mayoría del agua se obtiene de manera superficial (Área Metropolitana de Barcelona, n.d.), en los grandes embalses de los ríos Llobregat y Besòs, donde se recoge el agua del deshielo de los Pirineos. Esta agua se potabiliza en diversas estaciones de tratamiento, y se distribuye a depósitos municipales que permiten el suministro doméstico del recurso. Otra fuente alternativa a la superficial son las grandes masas de agua subterráneas, tales como el acuífero de la Vall Baixa y del Delta del Llobregat, que desarrolla un papel clave en el funcionamiento ecosistémico de la metrópolis. Por último, un tercer origen del agua consumida en el ámbito es la procedente de la desalinización marina, siendo esta una fuente que se utiliza en casos de emergencia dado el elevado coste energético que supone.

Una vez esta agua es consumida, mediante el sistema de saneamiento se dirige, conjuntamente con la recogida por la lluvia, a estaciones de tratamiento que posteriormente la reintegrarán al medio hídrico (Soto Fernández, 2020). Dentro de todo este proceso, el lapso del ciclo en el que se centra el estudio es al que llamaremos el agua de proximidad, y se centra en 1/ la precipitación atmosférica y 2/ el consumo urbano.

Una vez definidos los parámetros del ciclo del agua sobre el que se interviene, se establecen una serie de valores a partir de los cuales se permita cuantificar el agua en estos ámbitos, para proceder posteriormente a realizar un estudio comparativo de los mismos.

### 2.1 Precipitación

Este fenómeno meteorológico está sujeto a un régimen estacional, cada vez más abrupto en el paisaje mediterráneo, con menos episodios, pero de mayor intensidad. Esta situación lleva a menudo al límite la capacidad de los entornos urbanos, cuyas redes se diseñan para recoger cantidades de agua que a veces se ven superadas.

En tratarse de un fenómeno que se rige por el principio de la gravedad, se identificarán los parámetros ordenándolos verticalmente desde su sección, es decir, su origen atmosférico, los cuerpos urbanos sobre los que precipita, y la capacidad del suelo para infiltrar o recoger el agua de la lluvia.

#### 2.1.1 El agua de precipitación

La pluviometría indica la cantidad total de lluvia que se puede esperar que precipite en un determinado ámbito a lo largo de todo un año, cuya cantidad oscila entre los 700 y los 550 litros según su proximidad al mar y a la sierra Litoral. Ante este valor anual, la lluvia de diseño (Comissió de SUDS de l'Ajuntament de Barcelona, 2020) es el otro parámetro que nos permite calcular el caudal de agua máximo que puede darse en un ámbito concreto en un lapso de tiempo determinado. Tomando como referencia el período de retorno de 10 años (T10), en el Área Metropolitana se definen dos grandes áreas, una que orbita alrededor de la desembocadura y el valle del Llobregat (59 l/h), y el resto (52 l/h). La lluvia de diseño resulta un parámetro crucial para evaluar la capacidad de los tejidos urbanos de gestionar (es decir, retener, infiltrar o conducir) el agua en el momento más crítico (figura 1).

### 2.1.2 La precipitación toca tierra: las superficies de la ciudad

Una vez establecidos los parámetros que dirimen la cantidad de agua que precipita, hay que determinar también el sujeto que recibe la precipitación. Cuando el agua de la lluvia es interceptada, esta puede o bien ser retornada a la atmósfera mediante evapotranspiración, desplazarse por escorrentía o infiltrarse al subsuelo, en función de las características del espacio receptor.

La primera variable que se considera es si llega a la cota cero o si es interceptada por la cubierta de una edificación, y se estudia mediante los parámetros de ocupación (eso es, porcentaje de suelo edificado respecto al total). En este caso el agua es recogida y desplazada mediante la conducción hasta otro lugar. El conjunto de edificios que conforman el tejido urbano (figura 2) responde a usos diversos, que se corresponden a diferentes demandas hídricas, entre los que podemos determinar 5 grandes grupos (residencial, industrial, oficinas, terciario y equipamiento). Esta clasificación toma relevancia más adelante, pues determina la calidad del agua que se precipita sobre cada una de las superficies.

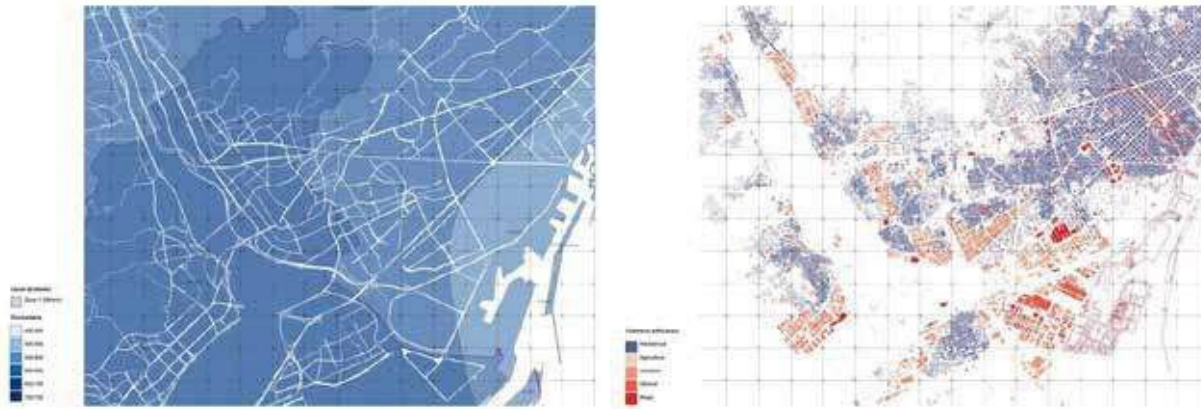


Figura 1. Pluviometría. (izq.) Delimitación de los distintos ámbitos según su Pluviometría anual, ubicándose la mayor sobre la Sierra de Collserola, y la menor en la desembocadura del Besòs. En azul oscuro se delimita la zona 1 según la Lluvia de diseño (59 l/h), mientras que el resto del espacio corresponde con la zona 2 (52 l/h). Elaboración propia a partir de datos del departamento de Territori i Sostenibilitat.

Figura 2. Cobertura edificatoria (der.) Conjunto de masa edificada, clasificada según su uso. Elaboración propia a partir de datos catastrales.

La lluvia que no es interceptada por las cubiertas de las edificaciones, se precipita sobre la cota cero. Esta superficie se puede dividir, en primer lugar, entre permeable e impermeable (en función de si es posible o no la infiltración), y dentro de este segundo grupo por la superficie destinada al tránsito de vehículos frente a la que no (figura 3), puesto que la presencia de contaminantes en esta superficie es más alta que en el resto del área.

La capacidad de infiltración, así como la de conducción, dependen de otro factor decisivo, que es la inclinación de la calle (figura 4). En este caso se considera que una pendiente superior al 6% (Green Blue Management, 2018) dificulta la capacidad de infiltración, mientras que facilita su conducción.



Figura 3. Cota 0. (izq.) Espacio no ocupado por edificaciones ni viales de tráfico, clasificado según su pendiente y su permeabilidad. Elaboración propia a partir del Mapa Urbanístic de Catalunya (MUC) y el Mapa de Cobertes del Sòl.

Figura 4. Viales (der.) Conjunto de viales clasificados según su pendiente. Elaboración propia a partir del Mapa Urbanístic de Catalunya (MUC).

### 2.1.3 De la superficie al subsuelo

La capacidad de infiltración que tenga el agua que se precipita sobre suelos permeables depende de la composición geológica del subsuelo. Dentro del Área Metropolitana de Barcelona se pueden diferenciar tres grandes áreas geológicas: 1/el sustrato arcilloso de los suelos deltaicos del Llobregat y Besòs, 2/una plataforma de arenas que conforma el llano de Barcelona y el pie de monte de la montaña; y finalmente 3/un suelo rocoso en los principales accidentes topográficos (estos son, la sierra litoral, Montjuïc i el área de los Tres Turons). Estos últimos presentan gran dificultad para infiltrar el agua, mientras que en los dos primeros la infiltración resulta viable (figura 5).

Asimismo, la presencia de las grandes masas de agua en el subsuelo del Área Metropolitana de Barcelona es un factor a tener en cuenta. Más allá de ser una fuente de consumo, los acuíferos juegan un papel clave en la lucha contra la infiltración salina proveniente de la costa. El descenso de los niveles freáticos conlleva un aumento de la infiltración del agua salada en el subsuelo, perjudicando tanto las infraestructuras como la biodiversidad de la metrópolis. La progresiva impermeabilización derivada del crecimiento metropolitano a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, juntamente con el aumento de pozos de extracción, provocaron una reducción histórica de los niveles piezométricos en los años 70, que se ha logrado reequilibrar recientemente mediante una compleja estructura de recolección, infiltración, saneamiento y bombeo. Partiendo de la lógica de la “least work solution” expresada por Mc Harg, potenciar la infiltración del agua allí dónde el equilibrio es más delicado (es decir, sobre el acuífero del Llobregat) es una oportunidad para evaluar el potencial de transformación de los tejidos urbanos.

### 2.2 Las Aguas grises

Frente al agua procedente de la precipitación, que es un fenómeno común en todos los ecosistemas del planeta, el ecosistema urbano contiene una segunda dimensión antrópica del ciclo del agua, correspondiente a la red de suministro y saneamiento propia de la ciudad. Pese a que este recurso forma parte de una red que desborda la escala de los tejidos urbanos, y tiene un bajo impacto en la forma urbana, el momento en el que el agua suministrada pasa a ser consumida -y se convierte en residual- sí que disfruta del carácter local en el sentido del presente análisis. El agua consumida pasa a ser considerada aguas grises o fecales según el uso que se le da (Ajuntament de Barcelona, 2016), y es dirigida mediante el sistema de saneamiento metropolitano (junto con el agua de lluvia interceptada) hasta las estaciones de tratamiento. Estudios recientes han puesto el foco en este recurso, basándose en normativas municipales de poblaciones del Área Metropolitana en las que se obliga a las edificaciones a regenerar y localmente a reutilizar parte de las aguas grises originales. Normativas compartidas con capitales europeas como Berlín, basadas en la aplicación de los principios de “fit for purpose”, plantean que la calidad del agua consumida no ha de ser siempre igual, y que determinados usos (tales como cisternas del wc y el riego, que suponen hasta un 21% de la demanda total) pueden ser suministrados a partir del tratamiento local del agua que proviene de duchas y fregaderos (un 30% del consumo). Estas normativas se plantean desde la escala de la edificación, pero toman protagonismo en el momento en que se aprecia que la cantidad del agua regenerada es superior a la demanda, y ese excedente se convierte en una oportunidad para la ciudad.

Tratándose de un proceso interno de la vivienda, y por tanto en manos de capital privado en la mayor parte del Área Metropolitana de Barcelona, estudios de mercado demuestran que implantar estrategias de reutilización de aguas grises se amortizan (considerando el coste de la obra y el ahorro en el consumo) en función de la densidad de viviendas por edificio. Esto permite por lo tanto clasificar las edificaciones de la ciudad según su capacidad de convertirse en elementos productivos dentro del ciclo del agua (figura 6). Hay que tener en cuenta que dada la estacionalidad de la precipitación, el excedente de aguas grises en entornos urbanos densos puede suponer un flujo constante de agua, y abrir nuevas perspectivas en la gestión metabólica de los proyectos urbanos.

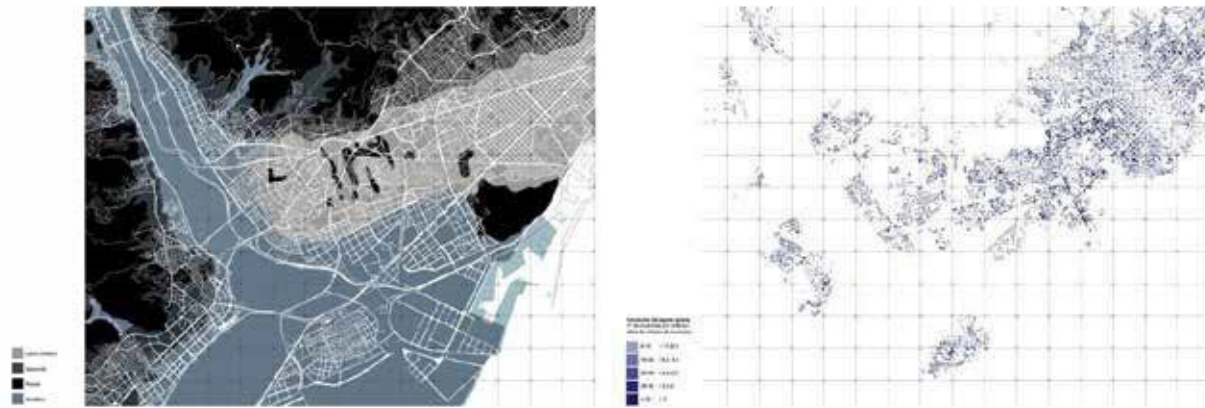


Figura 5. Subsuelo. (izq.) Composición geológica del subsuelo, combinada con la presencia del acuífero de la Vall Baixa y el Delta del Llobregat. Elaboración propia a partir del Mapa Geológico de Catalunya y datos de la Agència Catalana de l'Aigua (ACA)

Figura 6. Producción de aguas grises. (der.) Edificaciones clasificadas según su capacidad productora (es decir, número de viviendas por edificio) de aguas grises. Elaboración propia a partir de datos del Catastro.

### 2.3 Un Atlas del agua urbana

A través de la tecnología GIS, se plantea cartografiar el conjunto de parámetros mencionados. Se busca con ello obtener muestras diversas de tejidos urbanos como laboratorio para la comparación de sus capacidades y características, desde la perspectiva de la gestión del agua. La combinatoria de fuentes de catastro, población, planeamiento y mapas temáticos como el de las coberturas del suelo, permite construir un atlas de tejidos metropolitanos.

Así pues, esta metodología permitirá clasificar los distintos tejidos urbanos a partir de sus características morfológicas, estudiando el volumen edificado, las superficies urbanas, la densidad, el entorno y el sustrato, como un primer paso para abordar la transformación del espacio público y el espacio construido a partir de las dinámicas del agua. El conjunto de casos estudiados muestra interrelaciones interesantes que ponen en relación morfología, topografía y comportamiento social; y pretende construir un primer catálogo para discutir las intervenciones más apropiadas al introducir las dinámicas del agua en la génesis del proyecto urbano.

## 3 UN RETRATO DE FRAGMENTOS METROPOLITANOS

Una vez establecidos los parámetros cartografiados en el Atlas, se procede a buscar un conjunto de 9 fragmentos urbanos representativos de las múltiples realidades que encontramos en el Área Metropolitana de Barcelona (figura 7). Se toman como referencia tejidos próximos entre ellos, ubicados en su mayoría en las proximidades del río Llobregat a fin de incluir la variable del acuífero en la mitad de los casos de estudio.

Dichos casos de estudio fueron explorados inicialmente en el espacio docente de una asignatura optativa impartida durante el primer semestre de 2021 en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (UPC), en la que, como ejercicio previo a una intervención proyectual, los estudiantes analizaron y cuantificaron, en grupos de dos, las diversas superficies que constituyen esta constelación de casos de estudio (Crosas et al., 2021). Esta aproximación específica complementa y permite contrastar la información obtenida mediante el GIS que, si bien resulta de gran utilidad en la escala metropolitana, presenta carencias en relación a la precisión en la escala del 500x500.



Figura 7. Escenarios. Conjunto de tejidos analizados. Ortofoto de 2020 (ICGC).

### 3.1 Casos de estudio

- Bellvitge (Hospitalet de Llobregat) – Polígono de viviendas (alta densidad) ubicado en un llano impermeable sobre el acuífero del delta del Llobregat.
- Colonia Güell (Sta. Coloma de Cervelló) – Tejido híbrido industrial/residencial de alta densidad, ubicado en áreas con pendiente mayormente permeables.
- Eixample Central (Barcelona) – Tejido urbano compacto de usos mixtos, de superficies con poca inclinación, principalmente impermeable.
- El Polvorí (Barcelona) – Polígono de viviendas (alta densidad), ubicado en áreas con pendiente, mayormente permeables.
- Centro (El Prat de Llobregat) – Tejido urbano compacto de usos mixtos (densidad media), ubicado en un llano impermeable sobre el acuífero del delta del Llobregat.
- Riera Blanca (Barcelona) – Tejido híbrido industrial/residencial compacto, ubicado en áreas con pendiente mayormente impermeables.
- Centro (S. Boi de Llobregat) – Tejido urbano compacto de baja densidad, en pendiente, ubicado en el límite del acuífero del delta del Llobregat.
- La Miranda (Sant Just Desvern) – Ciudad jardín (residencial de baja densidad), en pendiente, abundancia de suelo permeable sobre sustrato impermeable.
- Polígono industrial El Pla (S. Feliu de Llobregat) – Tejido industrial monofuncional, ubicado en un llano sobre el acuífero de la Vall Baixa del Llobregat.

### 3.2 Criterios comparativos

Con tal de realizar un análisis comparativo de los distintos tejidos desde su potencial morfológico en la gestión del ciclo del agua, se propone invertir la mirada, pasando de focalizar en las características del tejido, a las acciones que se pueden realizar en relación al agua, siendo estas las siguientes: detención, tratamiento/filtración, retención/infiltración y, finalmente, producción.

#### 3.2.1 Detención

Este caso hace referencia a la gestión del agua que debe ser interceptada, es decir, la precipitación (figura 8) sobre superficies impermeables. El criterio de clasificación de esta agua se refiere a su calidad (Woods-Ballard et al., 2007), es decir, de la polución de la superficie. Aparecen desde este punto de vista tres grandes grupos, 1/ las cubiertas residenciales (nivel muy bajo de polución), 2/ cubiertas de otros usos y espacio público no viario (nivel bajo de polución) y 3/ Espacios destinados a la circulación rodada (nivel medio de polución). Tras esta mirada se categoriza el elemento receptor principal en cada uno de los casos, obteniendo tres grupos principales.

- Un primer grupo correspondiente a los tejidos compactos, que incluye el Eixample (Barcelona) y los centros de Sant Boi y el Prat de Llobregat. Estos tejidos cuentan con más de un 40% de cobertura de cubiertas residenciales, siendo los que tienen una capacidad de recogida de agua de mayor calidad.
- La ciudad jardín conforma un segundo nivel de preeminencia de techo residencial, pero dicha ocupación supone la mitad de superficie que los tejidos urbanos compactos. Esto se debe a la gran extensión de suelo permeable, que reduce sensiblemente la cantidad de agua que se puede retener.
- El tercer grupo lo conforman aquellos tejidos en los que la mayor parte de la superficie interceptora la conforman los tejados de edificios no residenciales y el espacio público impermeable, en los que se encuentran las áreas industriales (Riera Blanca y El Pla), así como los polígonos de vivienda (Bellvitge, el Polvorí).

En relación a la superficie más contaminada (el viario), los tejidos que cuentan con mayor proporción son precisamente aquellos que disponen de mayor superficie de cubiertas residencial, es decir, el primer grupo.

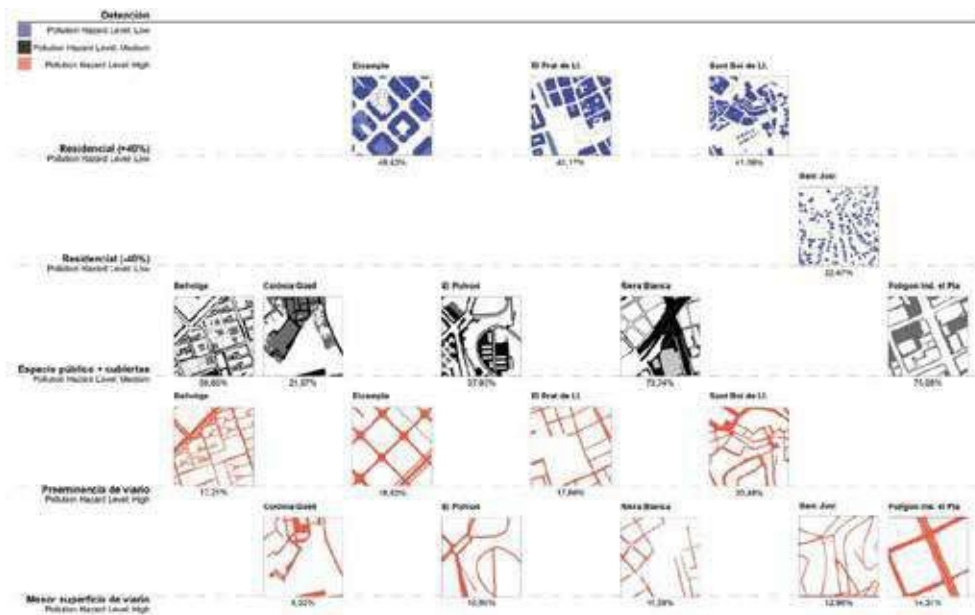


Figura 8. Detención. Estudio comparativo según la calidad del agua recogida de la lluvia. Elaboración propia.

### 3.2.2 Tratamiento/filtración

Tanto el tratamiento como la filtración del agua son procesos encaminados a mejorar la calidad del agua mediante sistemas naturales (Green Blue Management, 2018). El tratamiento se basa en sistemas estáticos, tales como las franjas de biorretención, mientras que la filtración necesita el movimiento del agua, como sería el caso de las zanjas drenantes o las franjas vegetadas. Esta condición de estaticidad vs. dinamismo conlleva una lectura del suelo de la ciudad (aquella no ocupada por edificaciones) desde las pendientes (figura 9).

La filtración se entiende como un elemento dinámico, y la pendiente superior al 6% -que por un lado dificulta la infiltración- facilita esta posibilidad. La circulación del agua a través de diferentes estratos vegetales favorece la oxigenación de la misma y la retención de partículas sólidas contaminantes. Ligado al dinamismo que ofrece la pendiente en tanto a la circulación del agua, se clasifican los trazados de las calles según el potencial de filtración de las mismas, obteniendo dos grandes grupos:

- Con predominio de calles con inclinación superior al 6%, como sucede en la Colonia Güell, El Polvorí, Sant Boi de Llobregat y Sant Just Desvern. La pendiente de la calle se traduce en una morfología de trazados curvos, que se adaptan a la topografía del lugar, facilitando por otro lado la posibilidad de circulación y distribución del agua.
- Con predominio de calles con inclinación inferior al 6%, como sucede en Bellvitge, l'Eixample Central, El Prat de Llobregat, Riera Blanca y el Polígono industrial del Pla.

Es interesante contrastar que la preeminencia de la inclinación del trazado de las calles no se caracteriza con un tejido específico, sino que resulta transversal dentro del conjunto de casos de estudio, incluyendo un espacio industrial, polígono de viviendas, centro histórico y ciudad jardín.

Por otro lado, el tratamiento se basa en la acumulación de agua en áreas de mayor dimensión, mediante microorganismos. En este caso resulta interesante disponer de amplias áreas sin pendiente y se procede a clasificar la ciudad según el espacio libre en cota 0 no destinada a la circulación de vehículos. Siguiendo este principio, la clasificación resulta ser la inversa que en el caso de la filtración, salvo el caso de Riera Blanca, dónde el desnivel generado por las infraestructuras cubiertas dificulta la obtención de áreas de tratamiento.

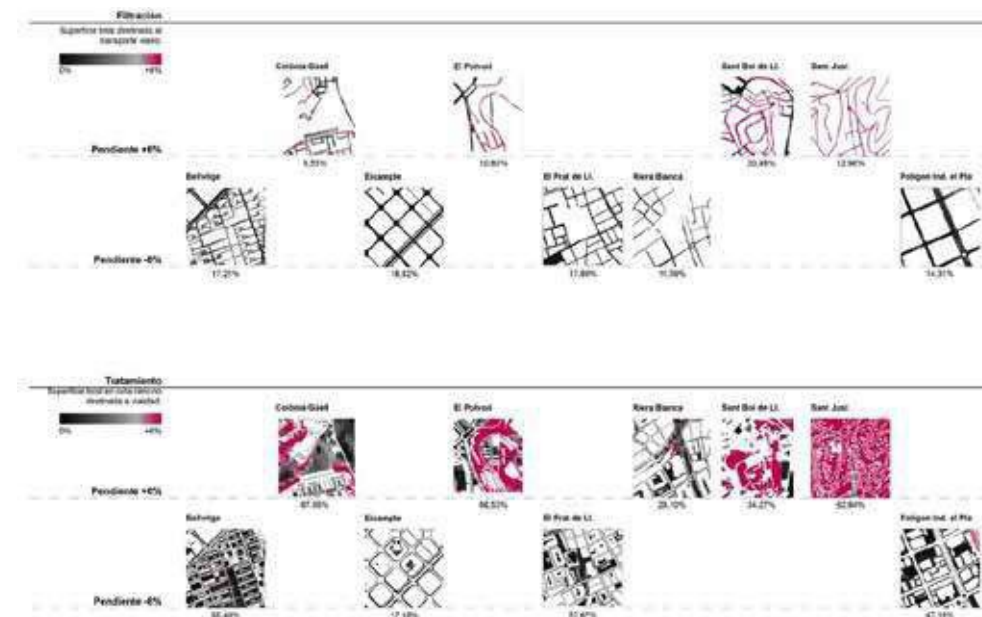


Figura 9. Filtración y tratamiento. Clasificación de los viales y el espacio urbano en cota 0, clasificado según su pendiente. Elaboración propia.

### 3.2.3 Retención/infiltración

Este conjunto de acciones ya no se enfoca hacia el tratamiento del agua, sino al uso que se hace del recurso. Una vez tratada, el agua puede reinsertarse en el ciclo del agua urbano (up-cycle), destinándose al riego de parques y jardines, a la mitigación del calor o al consumo de aguas grises, o a ser devuelta al medio. Según el criterio de proximidad utilizado, el retorno al medio no se plantea a través de conducciones hacia cuerpos de agua superficiales sino como el retorno al subsuelo mediante la infiltración. Esta infiltración resulta necesaria en mayor o menor medida según tres factores: 1/ Por un lado, la disponibilidad de espacios permeables que la permitan (o de espacios impermeables fácilmente transformables), 2/ una composición geológica favorable, y 3/ de la presencia o no de masas de agua estratégicas en el subsuelo de la ciudad. Tales reservas subterráneas son el fin último de la infiltración, puesto que la recarga natural de los acuíferos favorece por un lado la acumulación de este recurso en entornos próximos, así cómo desarrolla un papel clave en la barrera frente a la infiltración salina proveniente del mediterráneo (Crosas & Martí, 2021).

Empezando con este análisis valorativo, el acuífero de la Vall Baixa y el Delta del Llobregat está plenamente presente en cinco de los casos de estudio (Bellvitge, Colònia Güell, St. Boi y el Polígono del Pla), y parcialmente presente en el barrio del Polvorí.

Siguiendo el orden ascendente en sección del camino de la infiltración (es decir, des del subsuelo a la cubierta), los suelos con mayor capacidad permeable son los del llano, que coinciden con los que presentan menor diferencia topográfica (figura 10). Se trata pues de Bellvitge, el Eixample, El Prat de Llobregat, Riera Blanca y el Polígono del Pla. Encontramos otros suelos con condición limítrofe entre conformaciones geológicas, tales como el Samontà (pie de monte) en Sant Boi y la Colonia Güell (en el que el suelo permeable se sitúa próximo al río), y estratos rocosos con dificultad de infiltración en El Polvorí y Sant Just.

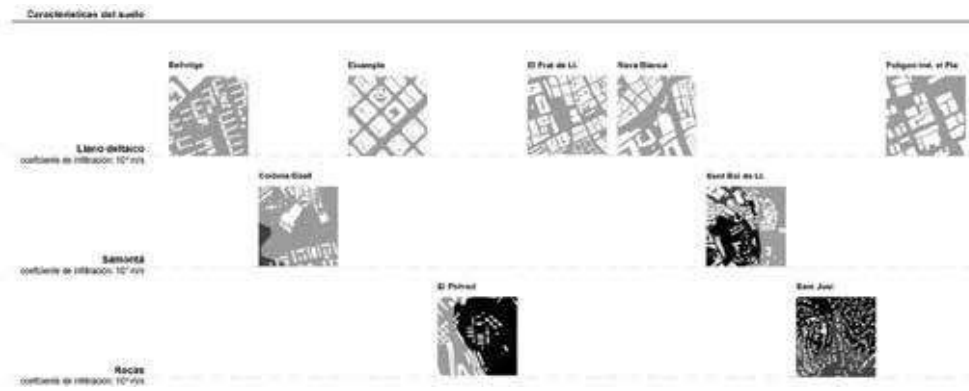


Figura 10. Subsuelo. Clasificación geológica del subsuelo. Elaboración propia.

Esto nos lleva a detectar en cuales de los suelos es mas necesario posibilitar la infiltración, siendo los más idóneos los que se sitúan sobre el acuífero (figura 11) y con un estrato permeable, es decir, Bellvitge, El Prat de Llobregat y el Polígono Industrial del Pla. La Colonia Güell y Sant Boi, por su proximidad al delta, también plantean situaciones en las que favorecer la infiltración resulta interesante, pero se requieren trabajos de conducción previos.

El tercer factor determinante es el grado de impermeabilización del suelo, que se determina por la superficie total permeable disponible (figura 12). La Colonia Güell y la ciudad jardín son los que mayor superficie disponen, seguidos por los tejidos urbanos densos ubicados en pendiente que son el Polvorí y el centro de Sant Boi. Tanto Bellvitge como el Polígono Industrial el Pla presentan una superficie permeable ligeramente superior al 10%, mientras que el Prat, el Eixample y Riera Blanca se encuentran por debajo de este valor.

Los tejidos urbanos sobre los sustratos más permeables, y por tanto más planos, también son las que disponen de menor área permeable. Se debería por tanto favorecer la permeabilidad en dichas áreas, especialmente en aquellas que se encuentren sobre el acuífero del Delta del Llobregat. Sobre aquellas en que la infiltración sea más difícil, ya sea por la ausencia del acuífero, la abundancia de suelo impermeable o un sustrato rocoso, la retención del agua captada -y tratada- se plantea como una opción interesante para aumentar la autosuficiencia de este recurso, reintroduciéndolo en el ciclo del agua allá dónde su calidad lo permita (riego, cisternas wc, limpieza, etc.), contribuyendo a limitar el efecto Isla de Calor Urbano (UHI, por sus siglas en inglés).

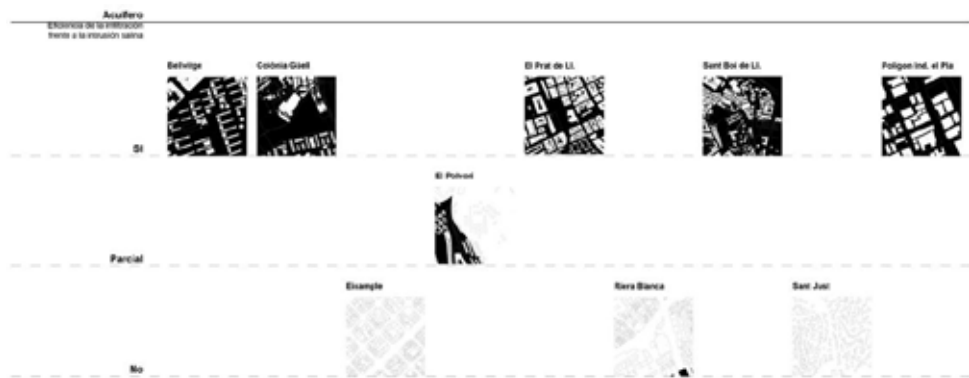


Figura 11. Acuífero. Clasificación según la presencia del acuífero de la Vall Baixa y el Delta del Llobregat. Elaboración propia.

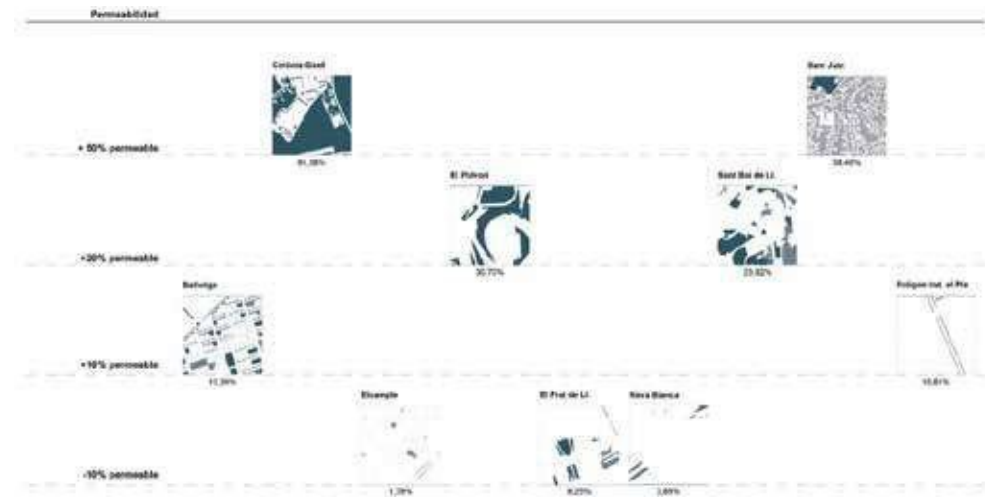


Figura 12. Permeabilidad. Clasificación de los viales y el espacio urbano en cota 0, clasificado según su permeabilidad. Elaboración propia.

### 3.2.4 Producción

Un cuarto factor, no relacionado con el agua originada en la precipitación, tiene una relación directa con la densidad edilicia o residencial de cada tejido. Esta lectura permite discernir qué tejidos pueden explorar la posibilidad de contar con una fuente continua (frente a la discontinuidad del régimen pluviométrico) de agua de las edificaciones al espacio público y cuales no (figura 13). Bajo este punto de vista, los polígonos residenciales son los principales beneficiarios, incluyendo Bellvitge y El Polvorí. Una segunda categoría recoge a los tejidos con mayor mixticidad, siendo éstos el Eixample, el centro de El Prat, y el entorno de Riera Blanca. La Colonia Güell, aparece como un elemento híbrido, dada la convivencia entre las viviendas unifamiliares de la colonia junto con los bloques de vivienda masiva del polígono Ciutat Cooperativa. Finalmente, los tejidos residenciales de baja densidad, tales como el centro de Sant Boi, la ciudad Jardín y el tejido monofuncional del polígono Industrial del Pla conforman un conjunto de ámbitos urbanos en los que la producción de aguas grises carece de interés des del punto de vista del proyecto urbano.

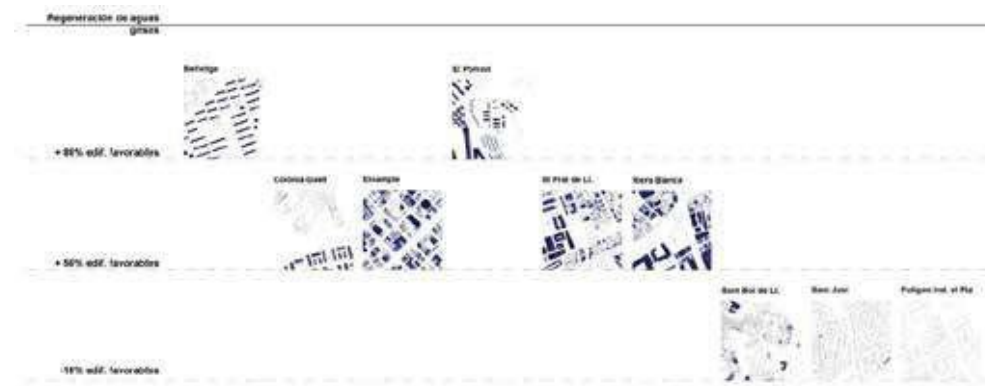


Figura 13. Regeneración de aguas grises. Clasificación de los tejidos urbanos en función de su capacidad productiva de aguas grises. Elaboración propia.

#### 4 LA "HIDROGRAFÍA" DE LA CIUDAD POR PARTES

El conjunto de parámetros analizados permite clasificar y categorizar los distintos tejidos des del potencial de transformación que tiene el ciclo agua en el proyecto de regeneración urbana de estos tejidos (figura 14).

- Bellvitge (Hospitalet de Llobregat) – Polígono de viviendas con alta capacidad productiva, grandes extensiones captadoras de agua de lluvia, que debe ser gestionada mediante sistemas de tratamiento para posteriormente ser infiltrada al acuífero. La alta densidad de viviendas garantiza un flujo continuo de infiltración.

- Colonia Güell (Sta. Coloma de Cervelló) – Fragmento urbano con alta capacidad de captar agua, ya sea en cubiertas de edificios industriales como en espacio público, que debe ser conducida y filtrada hasta cotas inferiores para posteriormente ser infiltrada al acuífero. La alta densidad de viviendas garantiza un flujo continuo de infiltración.

- Eixample Central (Barcelona) – Tejido urbano mixto, con gran superficie de cubiertas que garantizan una captación de agua de calidad. Puede ser tratada

18 Forma urbana y resiliencia: los desafíos de salud integral y el cambio climático

mediante sistemas de tratamiento y almacenada para posteriores usos urbanos (limpieza, riego, etc.), puesto que no resulta prioritaria la infiltración al acuífero.

- El Polvorí (Barcelona) – Polígono de viviendas con alta capacidad productiva, grandes extensiones captadoras de agua de lluvia, que debe ser conducida y filtrada, hasta ser posteriormente almacenada para posteriores usos urbanos, que contribuyan al mantenimiento del ciclo del agua en los espacios verdes de la montaña de Montjuic. La alta densidad de viviendas garantiza un flujo continuo y la disponibilidad permanente de esta agua.

- Centro (El Prat de Llobregat) - Tejido urbano mixto, con gran superficie de cubiertas que garantizan una captación de agua de calidad, que puede ser gestionada en el espacio público mediante sistemas de tratamiento, para posteriormente infiltrarla al acuífero. La alta densidad de viviendas garantiza un flujo continuo de infiltración.

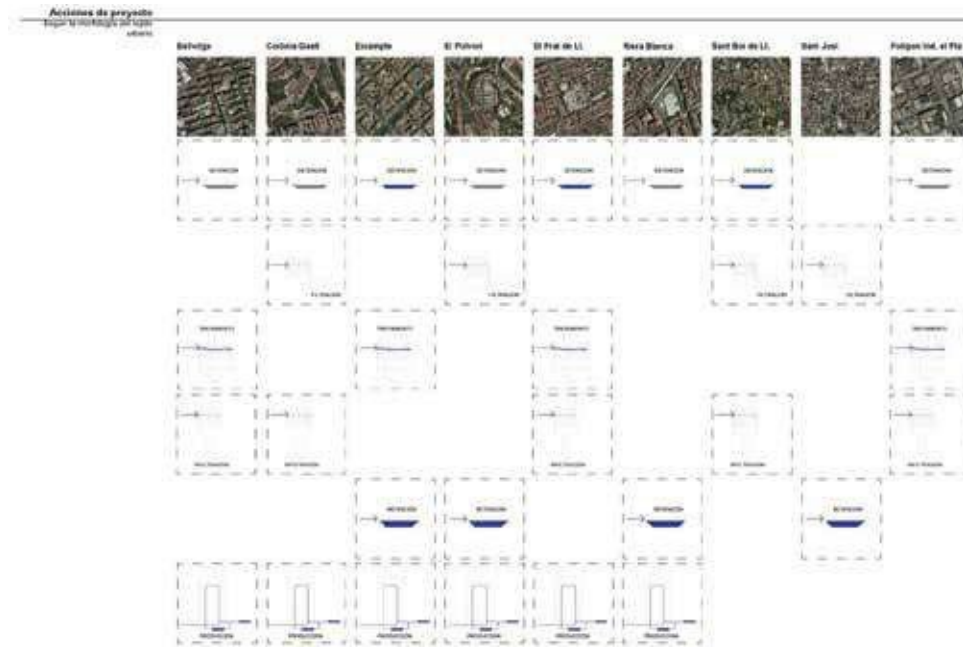
- Riera Blanca (Barcelona) – Tejido urbano mixto, con alta capacidad de captar agua, ya sea en cubiertas de edificios industriales como en espacio libre. La poca presencia de dichos espacios con poca pendiente, así como la poca presencia de viales inclinados dificulta el tratamiento del agua en el espacio público. Se recomienda pues almacenar el agua captada, y encaminar los futuros proyectos urbanos hacia la obtención de áreas aptas para el tratamiento de la misma.

- Centro (Sant Boi de Llobregat) – Centro urbano tradicional de baja densidad, con gran superficie de cubiertas que garantizan una captación de agua de calidad. Dicha agua puede ser conducida y tratada mediante sistemas de filtración hasta cotas inferiores para posteriormente ser infiltrada al acuífero. La baja densidad residencial lleva a descartar la posibilidad de obtener un flujo de agua continuo derivado del excedente del reciclaje de aguas grises.

- La Miranda (Sant Just Desvern) – La baja densidad y ocupación característica de la ciudad jardín dificulta identificar las áreas captadoras. Este hecho introduce un cambio de escala, y en esta situación el agua debería ser tratada independientemente en cada parcela. El ámbito de intervención des del urbanismo en este caso no sería el proyecto de escala urbana, sino la redacción de normativas que fomenten un cambio de paradigma.

- Polígono Industrial el Pla (Sant Feliu de Llobregat) – La gran abundancia de cubiertas industriales, así como los espacios impermeables abiertos entre las edificaciones favorecen la captación de agua de lluvia, que debe ser sometida a sistemas de tratamiento y posteriormente infiltrada al acuífero.

El conjunto de casos de estudio planteados muestra que pese la existencia de un repertorio limitado de estrategias de intervención en relación al ciclo del agua, estas se pueden combinar y adaptar a a cada tejido urbano. En la actualidad gran parte de los proyectos urbanos y, sobretodo, de espacios públicos, incorporan mejoras en la gestión del ciclo del agua a partir de la lectura específica de cada emplazamiento. Aún así, esta investigación establece un marco de acción general para un territorio más amplio (en este caso, algunos fragmentos característicos del Área Metropolitana de Barcelona) a partir de los cuales se puedan formular intervenciones específicas.



Es precisamente la forma de la ciudad, entendida en todas sus acepciones, ya sea la topografía del sustrato o el grano y compacidad de sus edificaciones la que determina cuales son las oportunidades de proyecto en cada tejido, desde el punto de vista del ciclo del agua. Se trata de una investigación abierta, que busca a través de este test de proximidad explorar la capacidad de transformación de la ciudad existente desde una perspectiva poco explorada. Sin ninguna pretensión conclusiva, el estudio sí pretende haber puesto de relieve como las lógicas de lo sistémico y de la gran escala asociadas al funcionamiento de las redes del agua en la ciudad, podrían entrar en diálogo fértil con la gestión del agua de proximidad, que desde una mirada más fragmentaria podría contribuir a dibujar un horizonte hídrico más resiliente.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Ajuntament de Barcelona. (2016). Consum d'aigua a la llar. <https://Ajuntament.Barcelona.Cat/Lafabricadelsol/ca/Content/Consum-Daigua-La-Llar-0>.
- Area Metropolitana de Barcelona. (n.d.). Cicle i recursos hídrics. <https://Www.Amb.Cat/s/Web/Ecologia/Aigua/Cicle-Aigua/Cicle-i-Recursos-Hidrics.Html>.
- Bryant, M. M., & Turner, J. S. (2019). From thermodynamics to creativity: McHarg's ecological planning theory and its implications for resilience planning and adaptive design. *Socio-Ecological Practice Research*, 1(3–4), 325–337. <https://doi.org/10.1007/s42532-019-00027-1>
- Comissió de SUDS de l'Ajuntament de Barcelona. (2020). Guia tècnica per al disseny de sistemes de drenatge urbà sostenible SUDS.
- Crosas, C., & Martí, J. (2021). Los equilibrios del agua oculta. Estrategias para un urbanismo ecosistémico en La Vall Baixa del Llobregat. *ZARCH*, 15, 80–95. [https://doi.org/10.26754/ojs\\_zarch/zarch.2020154809](https://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.2020154809)
- Crosas, C., Perea, M. J., & Martí, J. M. (2021). De las formas a los flujos: aproximación a un proyecto urbano [eco]sistémico. *JIDA*. <https://doi.org/10.5821/jida.2021.10578>
- Cuchí, A. (2011). La reconsideració de l'aigua a partir de la sostenibilitat. In *Museu d'Història de Barcelona: Institut de Cultura (Ed.), La revolució de l'aigua a Barcelona. De la ciutat preindustrial a la metròpoli moderna, 1867-1967* (pp. 166–170).
- Green Blue Management. (2018). Estudio de aprovechamiento de las aguas pluviales mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la actualización del Plan Técnico para el Aprovechamiento de los Recursos Hídricos Alternativos de Barcelona.
- Grulois, G., Tosi, M. C., & CrosasArmengol, C. (2018). Designing territorial metabolism: Barcelona, Brussels, and Venice (G. Grulois, M. C. Tosi, & C. Crosas Armengol, Eds.) [Book]. Jovis.
- McHarg, I. L. (1971). *Design with nature* [Book]. Doubleday-Natural History Press.
- Ranzato, M. (2017). Water vs. Urban Scape. Exploring Integrated Water-Urban Arrangements (M. Ranzato, Ed.). Jovis.
- Solà-Morales, M. de. (1993). *Les Formes de creixement urbà*. UPC.
- Soto Fernández, R. (2020). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad Mediterránea: Barcelona como ejemplo. In C. Llop, M. Cervera, & F. Peremiquel (Eds.), *IV Congreso ISUF-H: Metrópolis en recomposición: perspectivas proyectuales en el Siglo XXI: Forma urbis y territorios metropolitanos, Barcelona, 28-30 Septiembre 2020* (pp. 1–10). DUOT-UPC.
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). *The SUDS manual* (Vol. 697). Ciria.