

MONOGRAFÍA DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LA METRÓPOLIS DE PARÍS

2018



INTRODUCCIÓN

Este estudio se ha llevado a cabo en el marco del proyecto de apoyo técnico a la consolidación de la Comisión Metropolitana de Drenaje del Valle de México.

El 2 de diciembre de 2015, durante la COP21, se firmó un convenio entre la Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT) y el Ministerio de Ecología francés (MEDDE) para la asistencia, cooperación e intercambio de información sobre la gestión de los recursos hídricos y la adaptación al cambio climático. Dicho convenio prevé la realización de actividades de cooperación en el campo de la «gestión integrada de recursos hídricos, incluida la planificación, las redes de vigilancia, los programas de intervención, la gestión participativa y la implicación de los usuarios en el seno de los comités de cuenca, principalmente en el Valle de México».

Ese mismo día se firmó un acuerdo de cooperación descentralizada entre el Consejo de Cuenca del Valle de México y la Agencia del Agua Seine-Normandie, firmado por la ministra francesa de Ecología, para trabajar en la gestión de los recursos hídricos y la adaptación al cambio climático en el Valle de México. En junio de 2016 se firmó un acuerdo técnico detallado al margen de la Asamblea Mundial de la RIOC en Mérida. Financiado por la AESN y el SIAAP, comenzó en diciembre de 2017.

Este proyecto tiene como objetivo apoyar a la reciente Comisión Metropolitana de Drenaje del Valle de México, creada en 2013, y pretende reforzar la cooperación y las competencias entre las 3 partes del sistema de drenaje: la

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) y la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM).

Esta monografía sintética constituye la primera fase del conocimiento mutuo de la organización de la recogida y el tratamiento de aguas pluviales y residuales en las zonas urbanas de México y París. Además, sirve como base para el diálogo entre los socios.

El objetivo es entender cómo se enfrentan dos megalópolis de 10 y 20 millones de habitantes a los problemas de drenaje de aguas residuales y pluviales en un contexto de urbanización creciente y de cambio climático.

Para París, los desafíos son los siguientes¹:

- Asumir un crecimiento estimado de la población del 9 % de 2012 a 2030 con probables cambios en la distribución geográfica. En este horizonte, los desafíos fundamentales están relacionados principalmente con el control de las consecuencias del desarrollo urbano en la gestión sostenible de las aguas pluviales en un entorno impermeable, en el riesgo de inundaciones y, en menor medida, en las capacidades de depuración de la megalópolis parisina.
- Adaptarse a los efectos del cambio climático: estos efectos son de sobra conocidos y los diferentes actores se preparan para hacerles frente². Entre las principales consecuencias están los riesgos vinculados a los episodios de sequía con implicaciones en el mantenimiento de la calidad de las aguas fluviales, especialmente del Sena, y las cuestiones relativas al abastecimiento de agua potable de

¹ Grand Paris, eau et changement global, Jean-Pierre Tabuchi, Bruno Tassin, Cécile Blatrix, SIAAP, 2016

² Estrategia de adaptación al cambio climático en la cuenca Seine-Normandie, 2016

la megalópolis parisina. El aumento probable de los episodios de lluvias intensas muy localizadas³ plantea la cuestión de la captación de esas aguas pluviales en un contexto muy urbanizado.

Los responsables de la toma de decisiones, los técnicos y también los usuarios deben, por lo tanto, trabajar juntos para hacer frente a este problema y así proteger la ciudad y los recursos amenazados por el aumento de la población y el propio calentamiento global.

Más allá del desafío técnico de evacuar las aguas residuales de casi 9 millones de habitantes y las aguas de escorrentía en un contexto de fuerte impermeabilización del suelo, la singularidad del modelo parisino radica en la profunda cooperación entre los distintos actores y en la integración cada vez más completa en el gran ciclo del agua.

³ Le climat de la France au XXI^e siècle, Scénarios régionalisés-Editions 2014 pour la métropole et l'Outremer, G. Ouzeau, M. Déqué,

M. Jouini, S. Planton, R. Vautard y M. Vrac, dirigidos por Jean Jouzel (agosto de 2014)

ÍNDICE

Capítulo 1. Contexto geográfico y político de la megalópolis parisina	5
1.1. Geología, hidrografía y clima del área metropolitana de París	6
1.2. El territorio de la megalópolis parisina	9
1.3. La gestión del agua en Francia	11
Capítulo 2. Historia del drenaje de la conurbación parisina	14
2.1. Antes del alcantarillado estaban las cloacas	15
2.2. «El intestino del Leviatán»	15
2.3. Eugène Belgrand y el nacimiento del saneamiento moderno	16
2.4. Cambiar de nivel para limpiar mejor los suburbios (1850/1910).....	17
2.5. Reagruparse para limpiar la conurbación parisina	18
2.6. El plan general de saneamiento para la región de París de 1968, el cuestionamiento del modelo centrífugo.....	18
2.7. En busca del buen estado de las masas de agua	19
2.8. La inclusión progresiva de las aguas pluviales en el saneamiento, una exigencia europea	20
Capítulo 3. Instituciones encargadas y financiación	21
3.1. Tres niveles de interlocutores: desde la gota de agua hasta la salida de la planta depuradora	22
3.2. Partes implicadas en la construcción y funcionamiento del sistema de saneamiento y la evacuación de aguas pluviales	24
3.3. Financiación de la gestión del agua en la megalópolis parisina	26
Capítulo 4. Descripción de la infraestructura de recogida y tratamiento de las aguas residuales y pluviales	29
4.1. Organización y distribución entre agentes	30
4.2. Descripción del sistema	30
4.3. La tipología de la red de alcantarillado.....	36
Capítulo 5. Operación y mantenimiento de la red	38
5.1. La necesidad de gestionar los flujos en tiempo real	39
5.2. Cada parte dispone de su propio sistema	39
5.3. El sistema MAGES	42
Capítulo 6. Perspectivas	46
6.1. Principales problemáticas.....	47
6.2. Saneamiento y depuración	48
6.3. La gestión del agua en la ciudad y la prevención de inundaciones.....	49
6.4. Nuevos usos del agua con relación al cambio climático	53

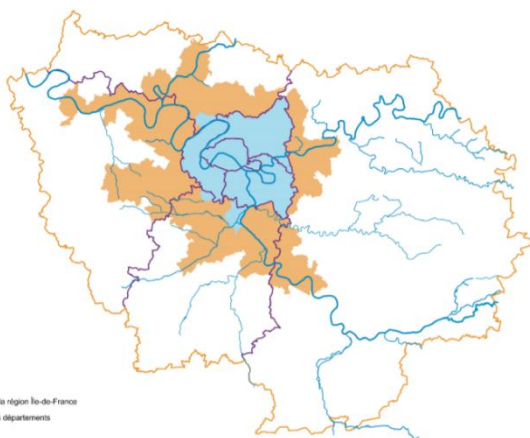


1. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y POLÍTICO DE LA MEGALÓPOLIS PARISINA

El presente capítulo incluye elementos de una monografía sobre París elaborada en el marco de la Alianza de Megalópolis para el Agua y el Clima: «Grand Paris, Eau et changement global», dirigido por Jean-Pierre Tabuchi (SIAAP), Bruno Tassin (École Nationale des Ponts ParisTech) y Cécile Blatrix (AgroParisTech – Institut des sciences et Industries du Vivant et de l’Environnement)

En aras de la claridad para el lector, el término «megalópolis parisina» se usará en la medida de lo posible para el territorio de urbanización continua alrededor de París, que correspondería al territorio ampliado cubierto por el SIAAP (siglas en francés del Sindicato Interdepartamental para el saneamiento de la conurbación parisina), y «Metrópolis del Gran París» para el territorio administrativo creado por la ley del 25 de enero de 2014.

Figura 1. Mapa de los perímetros de la Metrópolis del Gran París y de la megalópolis parisina (SIAAP – Fuente: INSEE, MGP)



— Limite de la région Île-de-France
 — Limite des départements
 — Mégapole parisienne
 — Métropole du Grand Paris (projet juillet 2015)

LEYENDA

Figura 1.
 Raya naranja: límite de la región Île-de-France
 Raya morada: límite de los departamentos
 En naranja: megalópolis parisina
 En azul: metrópolis del Gran París (proyecto de julio de 2015)

Figura 2.
 Longitud: 762 km
 Caudal mínimo en París: 95 m³/s
 Caudal medio: 310 m³/s
 Precipitación media anual: 650 mm

1.1. Geología, hidrografía y clima del área metropolitana de París

Ubicación de la cuenca del Sena

La megalópolis parisina se sitúa en la cuenca del Sena, una de las siete cuencas hidrográficas principales de Francia. Tiene una superficie de 78 000 km². La longitud total de los ríos en Île-de-France es de 5030 km, de los que 660 km son navegables. El eje principal de flujo está constituido por el Sena y sus dos principales afluentes: el Marne y el Oise. También hay muchos lagos, casi todos artificiales, con una superficie total de 14 200 hectáreas.

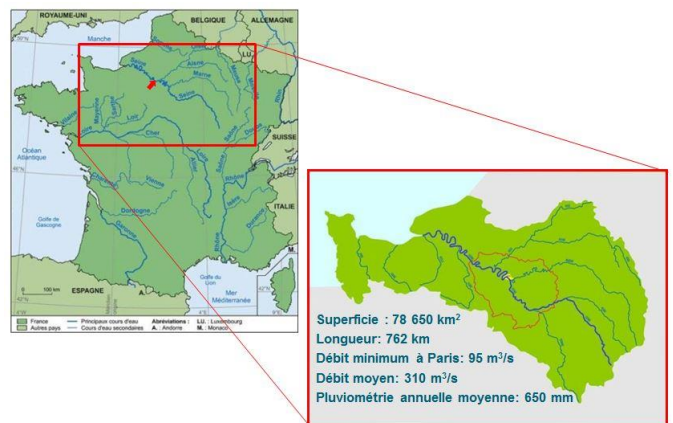


Figura 2. Ubicación de la megalópolis en el centro de la cuenca del Sena (fuente: SIAAP)

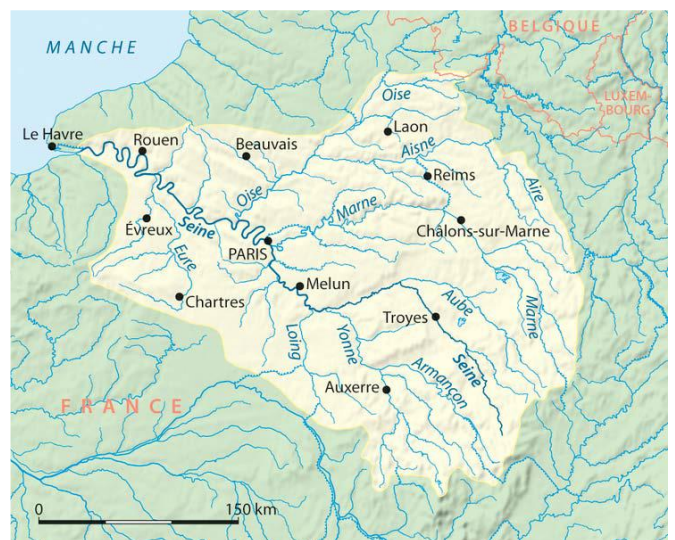


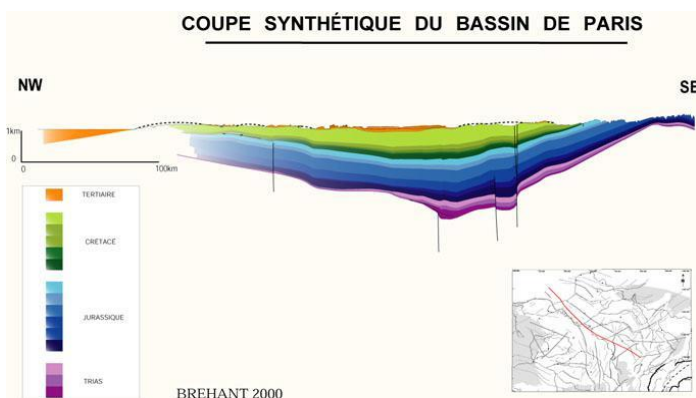
Figura 3. Los afluentes del Sena (fuente: SIAAP)

Los ejes principales, el Sena, el Oise y el Marne, están canalizados y son navegables. Desempeñan un papel importante en el suministro de bienes, en la retirada de escombros de las obras de París y son el principal recurso hídrico de la megalópolis parisina.

Geología

La megalópolis parisina se encuentra en el centro de una extensa zona sedimentaria, la cuenca parisina, estructurada por 4 zonas de mesetas poco elevadas (altitud máxima 217 m) separadas por los tres grandes ríos de Île-de-France: el Sena, el Marne y el Oise. Tiene una estructura similar a una cuenca formada por las diferentes formaciones geológicas depositadas durante las eras mesozoica y cenozoica (figura 4).

Figura 4. Geología de Île-de-France.
<http://geologie.mnhn.fr/collectionlutetien/coupebrehant700.jpg>



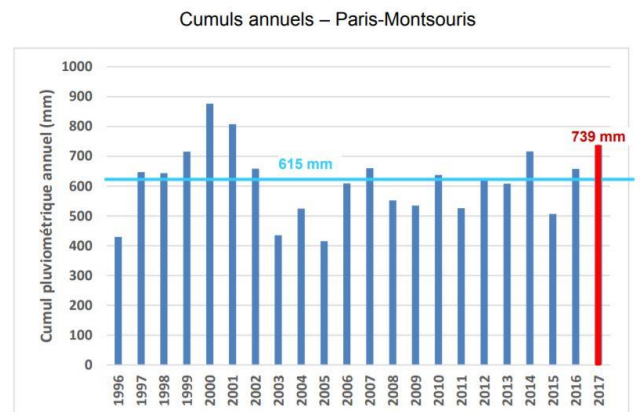
Clima y pluviometría

Debido a la influencia oceánica, el clima de la cuenca de París es templado. Las precipitaciones se distribuyen de manera relativamente homogénea a lo largo del año y las temperaturas son suaves tanto en verano como en invierno.

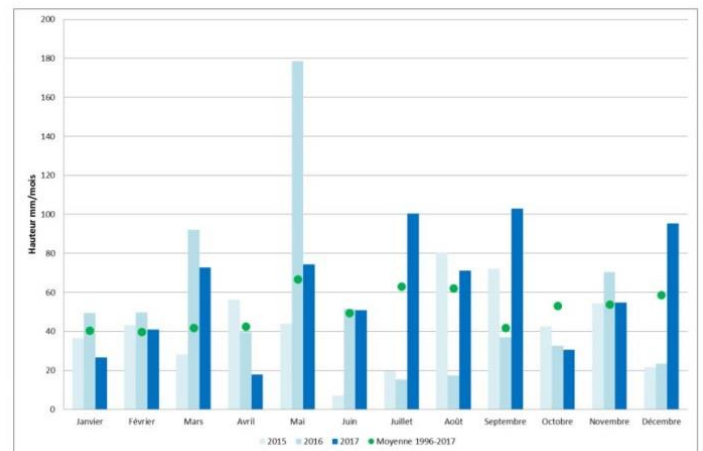
Figura 5. Temperaturas medias mensuales y anuales entre 1981 y 2010: París (fuente: lameteo.org)

PARIS (Ville de Paris)													
	Altitude : 75 m			Latitude : 48°49'N			Longitude : 2°20'E						
Températures en °C	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNEE
Minimale	2,7	2,8	5,3	7,3	10,9	13,8	15,8	15,7	12,7	9,6	5,8	3,4	8,8
Maximale	7,2	8,3	12,2	15,6	19,6	22,7	25,2	25,0	21,1	16,3	10,8	7,5	16,0
Moyenne	5,0	5,6	8,8	11,5	15,3	18,3	20,5	20,4	16,9	13,0	8,3	5,5	12,4

Figura 6. Evolución de las precipitaciones anuales de la ciudad de París (fuente: lameteo.org)



658 mm, une pluviométrie moyenne sur les 16 dernières années



LEYENDA

Figura 4. Sección sintética de la cuenca de París
 Naranja: era Cenozoica (antes Terciaria) | Verde: periodo cretácico
 Azul: periodo jurásico | Morado: periodo triásico

Figura 5. Se disponen los 12 meses y al final la media anual.

Figura 6 arriba. Media anual de Paris-Montsouris

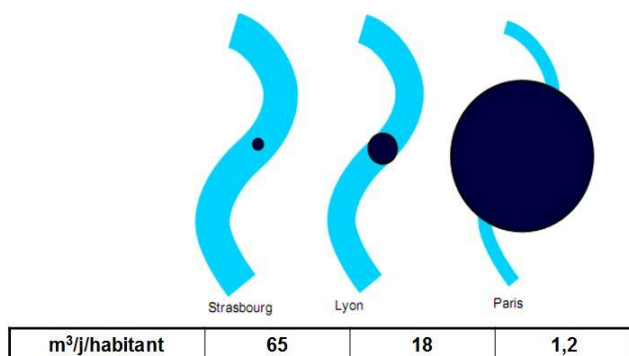
Figura 6 abajo. Altura mm/mes. En verde, la media entre 1996 y 2017

Caudal del Sena e inundaciones

En comparación con otros grandes ríos franceses, el Sena está sujeto a una alta presión antrópica (figura 7). El Sena y el Marne tienen un régimen oceánico caracterizado por un período de caudales bajos durante verano hasta principios de otoño y un período de crecida en febrero. Los caudales de estos ríos están regulados, tanto en crecida como en estiaje, por presas situadas aguas arriba de la cuenca hidrográfica, lo que limita los efectos de los peligros naturales.

Figura 5. Densidad de población y caudal de estiaje del Sena en París (fuente: SIAAP)

Débit d'étiage de la Seine à Paris: 91 m³/s



La cuenca Seine-Normandie está sujeta a 4 tipos de inundación que pueden combinarse:

- **El desbordamiento de los cursos de agua**

Se trata de crecidas de afluentes y ríos de llanura con niveles de agua que suben lentamente (con un tiempo de transferencia a la conurbación parisina de entre 4 y 11 días), tan pronto como los suelos se saturan bajo el efecto de las perturbaciones oceánicas. Las primeras reacciones tienen lugar aguas arriba de la cuenca y después se extienden aguas abajo y aumentan bajo el efecto de las precipitaciones habituales generalizadas.

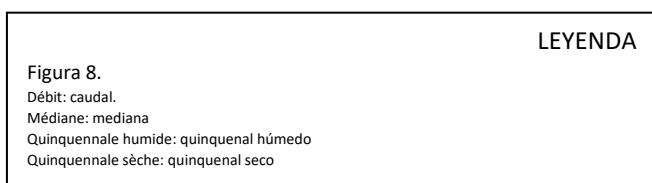
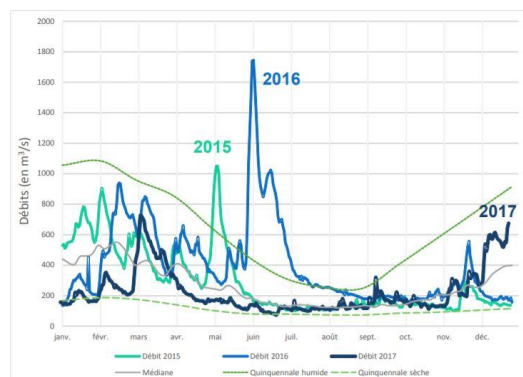


Figura 6. La importante variabilidad interanual de los caudales del Sena (fuente: SIAAP-Banque Hydro-EauFrance)



- **Fenómenos de escorrentía intensa localizados**

En las zonas rurales se deben a intensas precipitaciones durante cortos períodos en zonas de meseta con suelo impermeable, lo que genera flujos de lodos y rápidas crecidas en algunas zonas.

En las zonas urbanas y altamente impermeables, como en las megalópolis, se ven causados por episodios de lluvias intensas que provocan desbordamientos en las redes de saneamiento, que a su vez provocan inundaciones.

- **Fenómenos de aumento de la capa freática**

El aumento del nivel de la capa freática puede causar la inundación de sótanos o plantas bajas. Estas subidas suelen combinarse con otros tipos de inundaciones y pueden acentuar las consecuencias. Se notan principalmente en Normandía, Picardía, la región de Troyes, así como en París y sus suburbios cercanos.

- **Sumersión marina en la costa de Normandía**

Por la combinación de fuertes coeficientes de marea, depresiones y fuertes vientos que elevan el nivel del mar.

1.2. El territorio de la megalópolis parisina

División político-administrativa

El territorio francés se divide en 13 regiones, 101 departamentos y 36 682 municipios.

Cada nivel posee su administración y sus propias competencias.



Figura 7. División administrativa del territorio francés y ubicación de la región Île-de-France en rojo (fuente: Wikipedia)

La región Île-de-France se divide en ocho departamentos: París (ciudad y departamento a la vez), rodeada por Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis y Val-de-Marne forman la Petite Couronne, y alrededor de ella está la Grande Couronne con Seine-et-Marne, Yvelines, Essonne y Val-d'Oise. Este territorio, dividido en 1280 municipios, cubre una superficie total de 12 000 km² y cuenta con 11,9 millones de habitantes.

Como ya se ha señalado, la megalópolis parisina no existe administrativamente. Es una dificultad para presentarla. La región Île-de-France comprende un conjunto de municipios con una zona edificada continua llamada unidad urbana de París. Esta es

la definición que se usa aquí para la megalópolis parisina. Comprende 412 municipios con una población de 10,5 millones de habitantes y una superficie de 2845 km². La nueva estructura administrativa de la Metrópolis del Gran París (ley del 25 de enero de 2014) solo abarca una parte de la megalópolis (una cuarta parte de su superficie y la mitad de su población). Se superpone aproximadamente a la Petite Couronne y a la zona del SIAAP fuera del convenio.

Así pues, no hay datos consolidados para todo el territorio de la megalópolis parisina. Por lo tanto, los datos presentados en esta monografía se refieren a entidades pertinentes a una actividad (saneamiento o agua potable), o a una división administrativa (región Île-de-France, departamentos y agrupaciones de municipios).

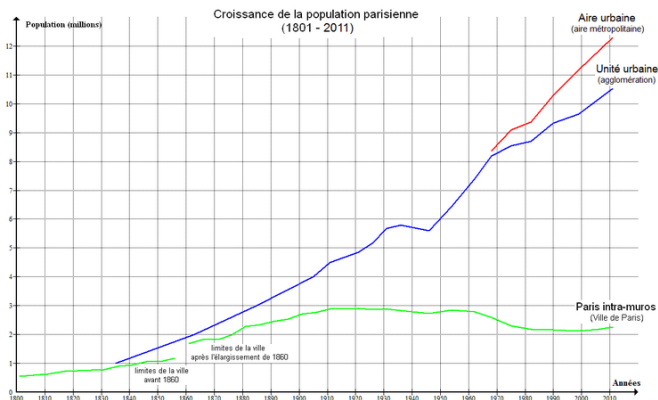
Figura 8. División de la región Île-de-France y los departamentos que la componen (fuente: SIAAP)



Datos demográficos

El crecimiento urbano de la megalópolis comenzó, como es lógico, en el interior de París, alcanzando el máximo en 1914. Continuó en los municipios limítrofes de los alrededores y después en la Grande Couronne a partir de los años 60.

Figura 9. Evolución demográfica de París y de la región Île-de-France (fuente: SIAAP)



LEYENDA
Figura 11. Línea roja: área metropolitana | Azul: conurbación | Verde: París
Límites de la ciudad antes de 1860 | Límites de la ciudad tras expansión de 1860

La ciudad de París es un modelo de «ciudad densa», con, entre otras cosas, un rendimiento muy interesante de todas las redes: agua potable, saneamiento, transporte público, etc.

A nivel de la región se observan importantes flujos migratorios diarios. Se estima que, si en París residen 2,2 millones de habitantes, durante el día la población casi alcanzaría los 3 millones.

Ocupación del espacio

En la región Île-de-France, el 20 % del territorio son zonas urbanizadas y el 13 % de dicho porcentaje son zonas edificadas. El resto del espacio está ocupado principalmente por cultivos (53 %) y bosques (23 %). Por otro lado, para París y la Petite Couronne, el 84 % del territorio es espacio urbano y el 60 % de ese porcentaje es espacio edificado. Apenas hay espacio rural (16 %).

Características de las viviendas

La vivienda es mayoritariamente colectiva en París y en menor medida en la Petite Couronne. Incluye viviendas grandes y pequeñas, tanto colectivas como individuales. En la Petite Couronne, la vivienda individual es estable y representa menos del 20 % de los alojamientos. Por el contrario, en la Grande Couronne se ha desarrollado en forma de urbanizaciones. Esta importante urbanización conduce a una impermeabilización sustancial del suelo que refuerza los fenómenos de escorrentía y limita significativamente las filtraciones en el medio urbano. Además, a nivel de Île-de-France, el coeficiente de impermeabilización aumentó entre 1999 y 2008 para las viviendas e infraestructuras individuales y colectivas.

Datos económicos

Île-de-France ocupa un lugar destacado en la economía mundial. En 2012 su PIB era de 612 mil millones de euros y ocupaba el sexto lugar en áreas metropolitanas tras Tokio, el Gran Nueva York, Los Ángeles, Osaka y Londres.

Con más de 5,9 millones de puestos de trabajo, de los cuales el 85,5 % corresponden al sector terciario, la región Île-de-France se caracteriza por su posición dominante en la economía nacional y la importancia del sector terciario, aunque sigue estando bien diversificada en comparación con otras ciudades de su tamaño. A pesar de la fuerte desindustrialización, sigue siendo la primera región industrial de Francia. La agricultura, dedicada principalmente a los cereales, es una de las actividades más productivas y el turismo una actividad importante (33 millones de pernoctaciones hoteleras en 2013).

1.3. La gestión del agua en Francia

La creación de políticas hídricas en Francia

Hoy las principales orientaciones generales de las políticas hídricas están impulsadas por directivas europeas. Se ponen en marcha en los diferentes niveles administrativos aplicando el principio de subsidiariedad. Sin embargo, las políticas hídricas no esperaron a que se aplicasen y se desarrollasen las directivas europeas. Así, la Ley de Aguas de 1964, que instituyó la gestión por medio de la cuenca hidrográfica, los comités de cuenca y las agencias del agua, fue uno de los principales fundamentos de esta política, cuyas bases siguen vigentes hoy en día.

La gestión hídrica actual se basa tanto en la legislación francesa como en directivas europeas específicas y se apoya en varios principios fundamentales:

- Una gestión descentralizada a nivel de las cuencas hidrográficas. Coordinada a nivel nacional, se mantuvo la gestión del agua por cuenca hidrográfica. El territorio de la «cuenca hidrográfica» está adaptado a la gestión de los recursos hídricos y es coherente a nivel ecológico.
- Un enfoque integrado (o global) que tiene en cuenta los diferentes usos del agua y los equilibrios físicos, químicos y biológicos de los ecosistemas acuáticos.
- Una gestión concertada con la participación de todas las partes interesadas a todos los niveles.
- Peritajes científicos y técnicos para apoyar el diseño, la aplicación y la evaluación de las políticas hídricas públicas, con la coordinación de la Oficina Francesa de Biodiversidad (antes Agencia Francesa de Biodiversidad y ONEMA).
- Instrumentos de incentivo económico: según los principios de «paga quien contamina» y

«paga quien lo usa». Las agencias del agua recaudan los impuestos, que se redistribuyen en forma de ayudas.

- Planificación y programación plurianuales: una planificación que define objetivos y prioridades de acción a través de planes por cuenca y una programación mediante programas plurianuales para la financiación de agencias del agua y contratos de río a nivel local.
- La responsabilidad de las administraciones públicas en la gestión de los servicios de agua potable y saneamiento: los municipios eligen un método de gestión que implica a operadores públicos o privados.

Los comités de cuenca, en los que se reúnen los principales interlocutores públicos y privados del sector hídrico, definen de manera coordinada las principales líneas de las políticas hídricas a nivel de cuenca hidrográfica. A menudo denominados «parlamentos del agua», se encargan de elaborar el plan de gestión de la cuenca definido para seis años, o «Plan general de planificación y gestión hídrica» (SDAGE, en francés). Más localmente, en unidades hidrográficas más pequeñas, los marcos de planificación y gestión hídrica (SAGE, en francés) permiten la aplicación de una gestión coordinada del agua.

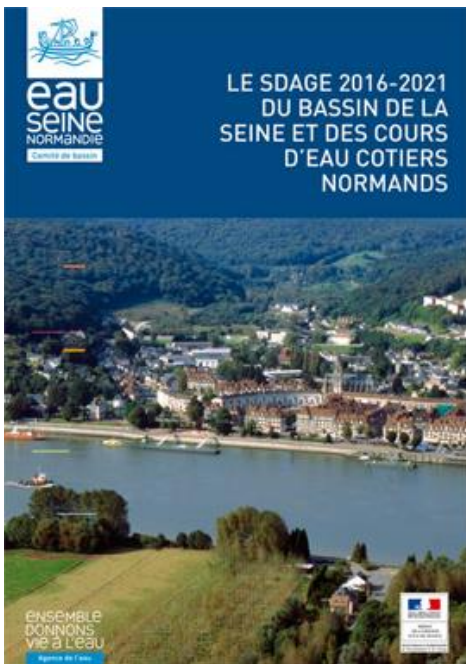
Las agencias del agua son el principal instrumento de financiación de las políticas hídricas gracias a los impuestos que recaudan sobre los usos del agua. También garantizan la gestión del comité de cuenca. Como tal preparan documentos de políticas hídricas a nivel de su cuenca y, por lo tanto, aseguran su coordinación en consulta con los organismos públicos.

La gestión del agua se divide entre las autoridades que dependen directamente del Estado, las autoridades locales y las entidades privadas. Existen, por tanto, documentos destinados a

garantizar la coherencia de la acción pública. Así, a nivel de la megalópolis parisina se encuentran dos documentos importantes:

- **El plan general de planificación y gestión hídrica (SDAGE)**

Figura 10. Cubierta del SDAGE Seine-Normandie 2016-2021



- **El plan general de la región Île-de-France (SDRIF, en francés)**

Se trata de un documento de planificación urbana y rural a nivel de la región administrativa. Lo elabora el órgano político regional junto con el Estado y en consulta con las partes implicadas.

Los organismos públicos, además del papel que juegan en el desarrollo de las políticas hídricas, tienen una función reguladora al establecer todas las autorizaciones administrativas de extracción o vertido de las distintas instalaciones. También se encargan del control reglamentario.

La gestión de los servicios públicos de agua y saneamiento

En Francia, las responsabilidades en materia de agua potable y saneamiento están asignadas a unos 36 000 municipios.

Así pues, el sistema francés de gestión de aguas se caracteriza por la importancia del nivel local, ya que los municipios pueden unir sus fuerzas en diferentes tipos de intermunicipalidad. Así, en 2013, había unos 14 000 servicios públicos de agua y 17 000 servicios públicos de saneamiento. Sin embargo, desde hace unos años se ha observado una tendencia a reagrupar los servicios de agua potable y saneamiento con el fin de racionalizar la organización y aumentar la eficiencia.

París y la región Île-de-France presentan una serie de especificidades en esta organización, vinculadas en parte a su historia y al estatus de París como capital tanto económica como política, además de al carácter centralizado de Francia.

El número y la diversidad de los niveles administrativos, la distribución de las competencias en su seno y el patrimonio histórico han llevado a una organización de la gestión del agua en la megalópolis parisina que presenta, como en todas partes, una cierta complejidad.

Una de las particularidades francesas de la gestión de las aguas municipales es la separación que se hace entre administración local, autoridad gestora del servicio de aguas y operador, que puede ser público o privado. Se habla entonces de delegación del servicio público. Las exigencias reglamentarias han hecho evolucionar la tecnicidad requerida y muchas autoridades locales han recurrido a la delegación del servicio público, sin poder desarrollar o encontrar suficientes capacidades técnicas por parte de los organismos públicos.

La elección del modo de gestión es libre, pero este sistema se caracteriza por el hecho de que los

consumidores siguen estando poco implicados en las decisiones relativas a la organización de los servicios en Francia. Son los representantes elegidos quienes se encargan. Otra característica importante para entender el sistema francés es la ausencia de un precio único del agua. Cada municipio o agrupación de municipios fija el precio del agua en su territorio en cumplimiento de la ley que exige separar y equilibrar los presupuestos de agua y saneamiento para que el agua pague el agua.

En este sistema hay que distinguir entre, por un lado, las partes encargadas del agua potable, que no trataremos en esta monografía, y por otro, los encargados de la gestión de las aguas residuales.

En esta monografía, el servicio público de saneamiento se definirá como la recogida de aguas residuales y pluviales, y su posterior tratamiento en plantas depuradoras. Se divide en dos partes (art. L2224-8 del CGCT, Código general de administraciones locales francés):

- **Saneamiento comunitario**

Las aguas residuales producidas por los edificios conectados se recogen en la red pública de recogida y luego se transportan a una unidad de tratamiento donde se depuran antes de ser devueltas al medio natural. En 2008, el saneamiento comunitario atañe al 82 % de las viviendas en Francia.

- **Saneamiento no comunitario**

Las aguas residuales se recogen mediante sistemas privados individuales de recogida y tratamiento de aguas residuales en edificios que no están conectados al sistema público de saneamiento comunitario.

Como requisito técnico previo al ejercicio de la competencia de «saneamiento», la autoridad competente debe adoptar una zonificación de

saneamiento, documento que consta de dos partes (art. L2224-10 del CGCT):

- **El apartado «saneamiento»**

Permite delimitar las zonas atendidas por un sistema de saneamiento comunitario y las zonas no atendidas donde los edificios están equipados con un sistema de saneamiento no comunitario.

- **El apartado «pluvial»**

Se identifican las zonas en que deben adoptarse medidas para limitar la impermeabilización del suelo y las zonas en que es necesario proporcionar instalaciones para la recogida, el almacenamiento y, en su caso, el tratamiento de las aguas pluviales.

Esta zonificación debe articularse con el plan general de ordenación urbana (PLU en francés) con el fin de garantizar la coherencia con la planificación urbana y tener en cuenta los proyectos de ampliación de la vivienda y las actividades económicas. De este modo, permite tener en cuenta los problemas relacionados con las aguas pluviales dentro de las perspectivas de desarrollo urbano que define. Puede integrar los retos relativos a los riesgos de inundación vinculados a la escorrentía y la preservación del medio natural al limitar la urbanización en zonas de riesgo. Permite establecer las prescripciones relativas a la gestión de las aguas pluviales definidas en la zonificación del saneamiento, como la inscripción de los lugares reservados a las estructuras, las limitaciones del caudal autorizado en la red de captación en caso de conexión, la elección del revestimiento de los edificios, las medidas compensatorias para la impermeabilización de los suelos, la inutilización de las zonas inundables, etc.



2. HISTORIA DEL DRENAJE DE LA CONURBACIÓN PARISINA

El actual sistema de saneamiento es el resultado de dos siglos de ingeniería y cambio de paradigmas. La megalópolis parisina goza de un entorno hidrológico favorable, que refleja un clima templado. Desde el siglo XIX, la gestión del agua ha sido un reto importante en el desarrollo de la región de París, que se ha enfrentado a grandes inundaciones, sequías y contaminación de los cursos de agua, mientras que el número de bienes, personas y actividades expuestas a estos riesgos ha aumentado⁴.

2.1. Antes del alcantarillado estuvieron las cloacas

Las primeras construcciones de alcantarillado se encuentran en el corazón de París y datan de la época romana. Fue unos siglos más tarde, alrededor del año 1200, cuando Luis-Auguste mandó pavimentar la ciudad y proveyó un canal de drenaje para evacuar un mínimo de agua estancada, fuente de epidemias que París experimentaría durante muchos siglos. El primer emisario se construyó hacia el 1300. Hasta principios del siglo XIX la lógica era limpiar las calles con grandes cantidades de agua y usar los cursos de agua existentes como alcantarillas al aire libre, incluso si eso significaba desviarlos, como fue el caso del Bièvre. En el *Quartier de la Cité*, el centro histórico, no había alcantarillas. Las aguas fluían hacia el Sena a través de los arroyos de las calles, los sumideros y las gárgolas.

En 1636, París tenía veinticuatro alcantarillas. Debido a la falta de mantenimiento se obstruían con aguas residuales y desechos, y por lo tanto no funcionaban. Las alcantarillas emitían muy malos olores.

⁴ Las principales fuentes usadas en la preparación de este capítulo son:
1) Emmanuel Bellanger, Eléonore Pineau. *Assainir le plus grand Paris au XXe siècle : un modèle d'intégration à grande échelle*.
2) Jean-Claude DEUTSCH; Isabelle GAUTHERON. *Eaux pour la ville, eaux des villes, Eugene Belgrand XIXe-XXIe siècle*, Presses des Ponts, pp.128-141, 2013

Las acequias del recinto de Carlos V de Francia (construidas de 1356 a 1383) servían como alcantarillas al aire libre en la margen derecha. Se rellenaron durante el reinado de Luis XIV para crear en su lugar los principales bulevares, incluyendo un primer anillo de alcantarillado bajo los mismos.

2.2. «El intestino del Leviatán⁵»

Hasta el siglo XVIII, la orina, las heces y otros residuos se recogían en pozos ciegos poco resistentes, lo que contribuía a la degradación de las capas freáticas más superficiales y a la contaminación del agua de los pozos. Los poceros vaciaban regularmente los pozos ciegos. Las aguas residuales extraídas durante el vaciado se enviaban al muladar de Montfaucon, al pie del Buttes-Chaumont donde se secaban. Así, el material obtenido se vendía después a los agricultores como fertilizante.

La gran epidemia de cólera de 1832 tuvo un papel de desencadenante. Por primera vez desde la época romana, la ciudad de París emprendió una importante operación de saneamiento. A principios del siglo XIX todavía había muy pocas alcantarillas, menos de 50 kilómetros (en comparación con los más de 2000 a finales del siglo XX). Las pocas alcantarillas existentes no son bien conocidas por la administración de la época que no cuenta con planos hasta finales del siglo XVII. En la margen derecha, el *Grand Égout* sigue el lecho del arroyo Ménilmontant, al que llegan varios arroyos que bajan de las colinas de Belleville y Ménilmontant. Desemboca en el Sena a la altura del Pont de l'Alma. Otras alcantarillas fluyen también hacia el Sena, drenando su margen

3) Jean-Pierre TABUCHI, Eugène Belgrand et l'assainissement de l'agglomération parisienne, SIAAP

4) Jean-Pierre TABUCHI, L'assainissement de l'agglomération parisienne, AESN, 2008

⁵ Victor Hugo, *Los Miserables*

norte. En la margen izquierda, es el Bièvre el que actúa como la principal alcantarilla colectora.

Al mismo tiempo que el trabajo de cartografía que se comenzó a principios del siglo XIX, en la década de 1830 se emprendieron importantes obras del sistema vial. Van de la mano de un ensanchamiento de las calles y de la introducción, a partir de 1833, de una nueva concepción de la calle que se curva con cunetas laterales que delimitan un nuevo espacio: las aceras. Estos desarrollos en el sistema vial, combinados con la aparición del macadán como técnica de construcción, dieron lugar a un aumento de la impermeabilización del suelo. Asociado a este cambio en el perfil de las vías se desarrolla la limpieza de las cunetas usando fuentes, cuyo uso fue posible gracias a la finalización del canal de Ourcq, con lo que se dispone de mayores cantidades de agua. La evacuación de las aguas se convirtió en un verdadero problema debido al aumento de los flujos a gestionar.

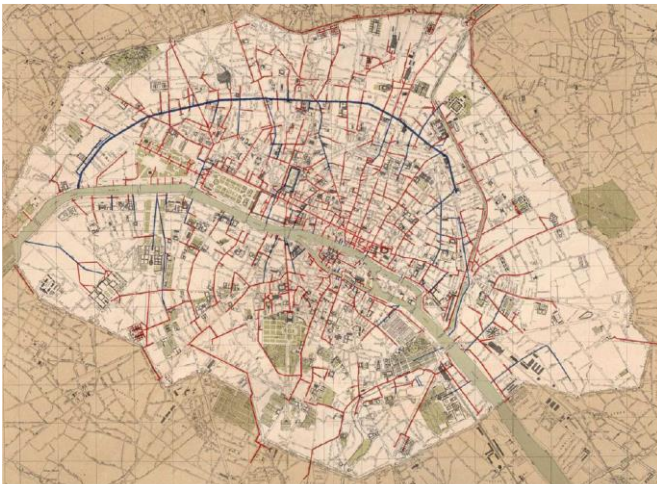


Figura 11. Plan estadístico de alcantarillado a 1 de enero de 1855 (fuente: Emmanuel Bellanger, Eléonore Pineau. *Assainir le plus grand Paris au XX^e siècle : un modèle d'intégration à grande échelle.*)

Hasta entonces, la lógica del saneamiento estaba en gran medida segregada. Las aguas residuales se evacuaban del centro de París y se enviaban a los

suburbios. Las aguas residuales se descargaban en el Sena y los desechos se esparcían en los campos de la periferia.

2.3. Eugène Belgrand y el nacimiento del saneamiento moderno

A partir de 1850, París sufriría grandes transformaciones urbanas como resultado de la revolución industrial y de la voluntad del emperador Napoleón III, asistido por el prefecto de París, Haussmann. Se encargó a Eugène Belgrand, ingeniero de Ponts et Chaussées, que desarrollase el abastecimiento y saneamiento de aguas, ya que el estado de las calles y el hedor del ambiente no estaban a la altura de las ambiciones de grandeza que los dirigentes tenían para la capital francesa. Su nombre queda desde entonces ligado para siempre a la creación del saneamiento moderno, que hemos heredado en gran parte en la configuración actual de las alcantarillas colectoras.

El programa Belgrand se aprobó el 18 de marzo de 1859. Este plan consistía en:

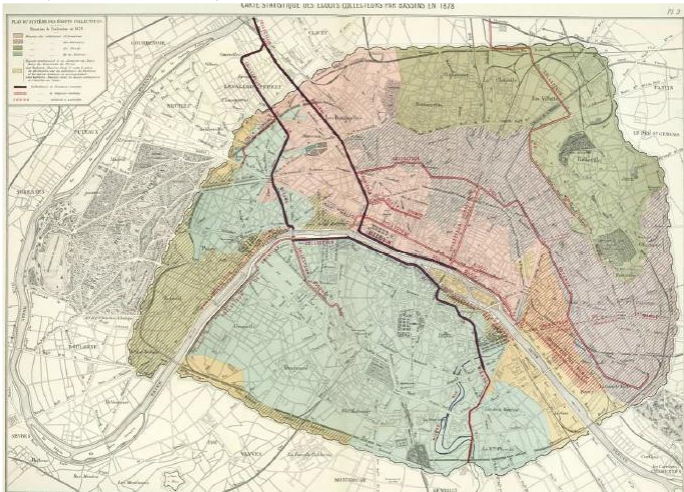
- La construcción, debajo de cada calle, de una galería que albergase los ductos de agua.
- La conexión de las casas para la evacuación de las aguas grises y de escorrentía.
- La descarga, aguas abajo de París, de las aguas recogidas.

Se buscan entonces lugares de vertimiento aguas todavía más abajo de la ciudad. Las alcantarillas como tal ya no desaguan en París, sino aguas abajo, en Clichy. Se construye el colector de Bièvre. Para conseguirlo, las redes de la margen izquierda se encuentran en el pont de l'Alma, donde pasan por debajo del Sena a través de un sifón. Se construye otro megacolector de 4,40 m de altura y 5,60 m de ancho; una hazaña técnica para la época. Al mismo tiempo, se planifica todo el

sistema de mantenimiento y limpieza. La red es propensa a los depósitos debido a sus bajas pendientes, pero también debido a las grandes cantidades de arena y residuos que se introducen en ella, como el estiércol de caballo. Por lo tanto, la limpieza de estas estructuras es esencial para su correcto funcionamiento. Estas tareas son arduas y desde mediados del siglo XIX se ha intentado mecanizarlas. Esto lo llevó a desarrollar e inventar técnicas de dragado que aún se utilizan hoy en día: depósitos de descarga, barcos compuerta, coches válvula y bolas de dragado.

Cuando Belgrand murió en 1878, la red de alcantarillado de París había aumentado hasta los casi 600 km.

Figura 12. Mapa del alcantarillado de París en 1878 (fuente: SIAAP)



2.4. Cambiar de nivel para limpiar mejor los suburbios (1850/1910)⁶

La contaminación del Sena por los vertidos del alcantarillado empujó a los sucesores de Haussmann a establecer un sistema de decantación (primeras cuencas en 1878 en Clichy) y esparcimiento (primero en Asnières y Gennevilliers). A partir de 1895, los emisarios se

extendieron hasta Achères, donde las aguas residuales quedaban expuestas en los campos de esparcimiento del propio Achères, pero también en Pierrelaye y Triel-sur-Seine.

Si la situación de los parisinos había mejorado, lo hizo todavía más con la imposición de sumideros por la ley de 1894 que exigía la recogida de aguas residuales y de escorrentía. Distaba mucho de ser así para los habitantes de las zonas aguas abajo, cuyas alcaldías pronto exigieron el mismo tratamiento que el centro de París y soluciones para resolver los problemas de contaminación del Sena, que entonces concentraba todos los vertidos sin tratamiento. Tanto más cuanto que esta concentración genera depósitos que dificultan la navegación, ampliamente usada para transportar mercancías. Es entonces cuando nace una nueva etapa en el saneamiento de la conurbación de París: la implantación de medios de depuración.

Finalmente, el desarrollo de los suburbios eliminó gradualmente cualquier carácter rural en las afueras de París. Esto llevó a los municipios a usar cada vez más las mismas soluciones que en París para su saneamiento con la creación de redes de alcantarillado y su conexión a los colectores que evacuaban las aguas residuales a Achères. A este respecto, el departamento del Sena desempeñó un importante papel unificador y creó un organismo centralizado para la evacuación y posterior tratamiento de las aguas residuales de la conurbación de París, un sistema financiado en gran medida por los parisinos en el marco de la solidaridad territorial y, sobre todo, para aliviar las tensiones entre la ciudad y los suburbios.

⁶ Emmanuel Bellanger, Eléonore Pineau. *Assainir le plus grand Paris au XX^e siècle : un modèle d'intégration à grande échelle*. Jean-Claude DEUTSCH;

Isabelle GAUTHERON. *Eaux pour la ville, eaux des villes, Eugene Belgrand XIX^e-XX^e siècle*, Presses des Ponts, pp.128-141, 2013

2.5. Reagruparse para limpiar la conurbación parisina

Poco a poco, y sobre todo ante el auge urbano, se fue cuestionando el esparcimiento, y los límites de la cuenca parisina se ampliaron más allá del primer programa de saneamiento general creado entre 1929 y 1931, que incluía París, el departamento del Sena y parte del antiguo departamento Seine-et-Oise. Concebido como el marco de una red ejemplar, este programa preveía equipos de depuración y grandes obras de evacuación, emisarios y colectores, que seguían los límites de la cuenca hidrográfica parisina. Para facilitar el drenaje de las aguas pluviales y reducir el riesgo de inundaciones, el programa se comprometía a desarrollar los cursos de agua y fomentaba la instalación de redes separativas que hoy en día muestran sus límites.

Su objetivo técnico se basaba en tres principios: la concentración de la depuración de las aguas en un solo lugar (Achères) el flujo gravitacional de la red hacia la planta, y la circunvalación de París para establecer nuevas estructuras de recogida. La planta de Achères debía incluir 24 secciones, cada una de las cuales debía tratar más de 100 000 m³ de aguas residuales al día, alimentadas por una red de emisarios construidos para complementar el emisario general de la ciudad de París.

Más allá del aspecto técnico, lo innovador es el método de financiación basado en los recursos de los municipios y no en el volumen descargado. Demuestra una verdadera voluntad de tener en cuenta las problemáticas periurbanas en un «gran París». El acuerdo abarcaba los 81 municipios del departamento de la capital y los 162 municipios del antiguo departamento Seine-et-Oise. La interdepartamentalidad cubre así las necesidades de casi seis millones de habitantes, es decir, el 14 % de la población francesa.

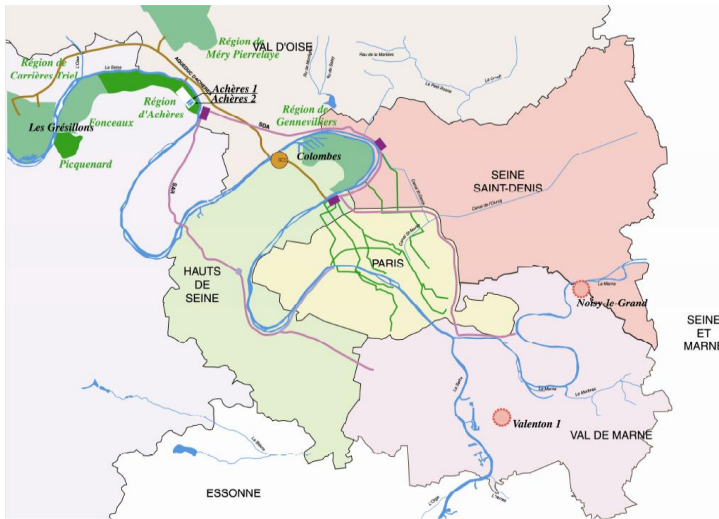
Así es como se pusieron en marcha sucesivamente diferentes fases de desarrollo de Achères:

- En 1954, el emisario Sèvres-Achères conexión Rueil permite abastecer a Achères I en sustitución de una derivación desde el emisario general. Esta sección se reorganizó entonces para aceptar 220 000 m³/día.
- En 1966, Achères II tiene una capacidad de 300 000 m³/día al finalizar el emisario de Saint-Denis-Achères. Al mismo tiempo, se pone en marcha una unidad piloto de 60 000 m³/día.
- En 1972, Achères III cuenta con una capacidad de 900 000 m³/día al finalizar el emisario Clichy-Achères sección Argenteuil.
- En 1978, Achères IV, con una capacidad de 600 000 m³/día al finalizar el emisario Clichy-Achères conexión con Bezons.

2.6. El plan general de saneamiento para la región de París de 1968, el cuestionamiento del modelo centrífugo

En 1968, las capacidades de depuración estaban lejos de cubrir las necesidades, sobre todo porque la presión demográfica era muy fuerte en la región Île-de-France, lo que provocaba una expansión urbana proporcional (figura 15). El desarrollo de Achères era indispensable pero insuficiente para absorber los desechos de los suburbios del sur y el este, que se estaban expandiendo rápidamente. Esta situación, que generaba tiempos de transferencia cada vez más largos, llevó al abandono del principio de «todo para abajo». En 1968, también se decidió crear dos plantas depuradoras situadas aguas arriba: una de tamaño medio en Noisy-le-Grand, en el Marne, y una muy grande en Valentigney, en el Sena. Estas elecciones debían reflejarse en el plan general de saneamiento de la región parisina de 1968.

Figura 13. Situación del saneamiento en 1968 (fuente: *L'assainissement de l'agglomération parisienne*, Jean-Pierre Tabuchi, AESN)



En 1970, una ola de reformas territoriales causó la división de los departamentos Seine y Val d'Oise (que superaban ampliamente el área metropolitana) en 7 departamentos. Esta división produjo cambios importantes, ya que los departamentos adquirieron competencias en saneamiento. Tras varios años de incertidumbre en cuanto a la gestión de las infraestructuras de transporte y depuración, en 1970 se creó el Sindicato interdepartamental para el saneamiento de la conurbación parisina (SIAAP), compuesto por París y 3 departamentos limítrofes, llamados Petite Couronne (n.º 92 Hauts-de-Seine, n.º 93 Seine-Saint-Denis y n.º 94 Val-de-Marne).

El SIAAP hereda entonces la gestión y ejecución de las obras interdepartamentales (plantas depuradoras, obras de acceso a las plantas, etc.), asignándose a los departamentos las obras de carácter departamental. A pesar de esto, el sindicato transporta y depura los efluentes de los municipios exteriores. Ahora mismo, las estaciones del SIAAP sanean 287 municipios.

2.7. En busca del buen estado de las masas de agua

Con el tiempo y con el crecimiento de la ciudad, el saneamiento de la conurbación parisina se asemeja a una agotadora carrera entre la producción de aguas residuales y la capacidad de tratamiento de estas, para las que las exigencias europeas imponen un tratamiento que permita alcanzar los objetivos de buen estado de las masas de agua.

La adopción en mayo de 1991 de la directiva europea sobre aguas residuales urbanas conllevó la necesidad de elaborar un nuevo plan general de saneamiento de la conurbación de París. Este documento se publicó en 1992 y sus principales características implican una descentralización más detallada de las plantas depuradoras (las protestas de los habitantes llevaron al SIAAP a abandonar los proyectos de ampliación de Achères y a buscar otras soluciones) y tener en cuenta la contaminación cuando llueve. Con respecto a este último punto, el plan es ambicioso, ya que prevé la reducción del riesgo de inundación por un período de retorno de 30 años para las estructuras del SIAAP y tratar los sobrevvertidos de las redes unitarias y las descargas de aguas pluviales por un período de retorno de 10 años.

En el año 2000 se adoptó un nuevo plan para definir el futuro de Achères y el del saneamiento en la conurbación. Las líneas principales del plan son las siguientes:

- Una mejora del nivel de depuración de las aguas residuales en periodos secos para lograr el cumplimiento de las exigencias de las zonas sensibles a la eutrofización.
- La reducción del caudal procesado en Seine Aval (Achères) de los 2,1 millones de m³/día actuales a 1,5 millones de m³/día, con una

etapa a 1,7 millones de m³/día y la creación de capacidad adicional en otros emplazamientos.

- El almacenamiento y tratamiento de aguas pluviales en época de lluvias con un período de retorno de 6 meses. Para ello se prevé la construcción de 15 depósitos (847 000 m³) y 4 túneles (20,6 km – 801 000 m³), así como la construcción de una planta de descontaminación de aguas pluviales.
- La creación de redes entre los principales emisarios.
- Una capacidad total de tratamiento constante expresada como un caudal fijado en 2 780 000 m³/día, con la expectativa de compensar las nuevas entradas mediante la reducción de los volúmenes de aguas parásitas permanentes en unos 300 000 m³/día.
- Una gestión dinámica de los flujos, con el fin de aprovechar al máximo las capacidades de tratamiento al jugar con los volúmenes de almacenamiento disponibles.
- El control de los insumos de aguas de escorrentía que proceden de urbanizaciones nuevas.

Entre 2003 y 2007, el plan general se actualizó para tener en cuenta los cambios en los datos básicos: evolución demográfica, consumo de agua, impermeabilización y las características de las nuevas construcciones resultantes. También tiene en cuenta los cambios reglamentarios relativos a la directiva sobre aguas residuales urbanas y anticipa los objetivos de la directiva marco sobre el agua. Esto ha llevado a tener en cuenta los niveles de rendimiento mejorados de las plantas de saneamiento de la conurbación de París en lo que respecta a la descontaminación del agua. Sin embargo, en estas líneas generales, el plan general actualizado confirma el de 1997.

El último plan adoptado se votó para el período 2007-2021 y recientemente se actualizó para evaluar el impacto en el Sena y sus afluentes de

diferentes escenarios de evolución del sistema de saneamiento que integran cambios demográficos, el consumo de agua o la impermeabilización para una amplia variedad de situaciones de periodos de lluvia. Tener en cuenta el impacto del cambio climático también empieza a ser indispensable.

2.8. La inclusión progresiva de las aguas pluviales en el saneamiento: una exigencia europea

La obligación de tratar las aguas pluviales antes de que acaben en el Sena se ha ido imponiendo progresivamente con la directiva sobre las aguas residuales urbanas de 1991, la ley de Aguas de 1992 y la transposición en 2004 de la Directiva Marco Europea sobre el Agua del año 2000. La ley sobre el agua y los medios acuáticos de 2006 proporciona al SIAAP un marco para la gestión de las aguas pluviales y estipula en un artículo que se garantiza la recogida, el transporte, el almacenamiento y el tratamiento de las aguas pluviales. Esta ley está en consonancia con la Directiva Marco del Agua (DMA), que establece el año 2015 como fecha para el retorno a un buen estado ecológico de las aguas con un mejor tratamiento de la contaminación durante los períodos de lluvia y, por lo tanto, la necesidad de mejorar la tasa global de descontaminación. La elaboración del plan general de saneamiento del SIAAP para el agua de lluvia contribuye de manera significativa al logro de los objetivos fijados en 2015.



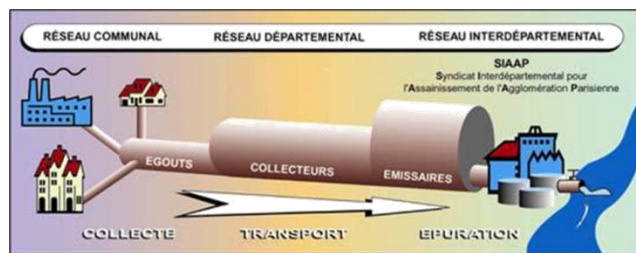
3. INSTITUCIONES ENCARGADAS Y FINANCIACIÓN

En los últimos 50 años, el número de partes involucradas en la gestión del agua ha aumentado debido a sucesivas reformas administrativas y territoriales. Varios textos recientes han consagrado legalmente la existencia de las metrópolis (y no solo en París). Una ley del 27 de enero de 2014 creó una «Metrópolis del Gran París», que anteriormente no existía de manera formal. Por otra parte, el término «megalópolis» no hace referencia a ninguna condición jurídica hasta la fecha.

Hoy, el establecimiento de la Metrópolis del Gran París es una preocupación para los interlocutores políticos. Debería conducir a cambios institucionales y de gobernanza en el ámbito del agua, aunque hoy en día sea difícil predecir cuáles serán.

La figura 16 resume los diferentes interlocutores técnicos en el centro del sistema de drenaje de la conurbación de París.

Figura 14. Diagrama de flujo de la recogida y tratamiento de aguas residuales en la megalópolis parisina (fuente: <https://www.seine-saint-denis.fr/IMG/jpg/reseauda72-2.jpg>)



LEYENDA

Figura 16. (Izq-dch) Red municipal, departamental e interdepartamental
 Égouts: alcantarillas | Collecteurs: colectores | Émissaires: emisarios
 Collecte: recogida | Épuration: depuración

3.1. Tres niveles de interlocutores: desde la gota de agua hasta la salida de la planta depuradora

El municipio, nivel básico y primera línea de recogida de aguas residuales

Como se ha visto anteriormente, son los municipios los que se encargan del agua potable y el saneamiento en su territorio. También desempeñan un papel en la recogida de aguas pluviales y, cada vez más, en la gestión y prevención de las inundaciones [competencia GEMAPI (Gestión del agua, los medios acuáticos y la prevención de inundaciones) / ley NOTRe (Nueva Organización Territorial de la República)].

En el territorio estudiado, los municipios o sus agrupaciones se encargan de la recogida básica de las aguas residuales urbanas y de las aguas pluviales a través de 15 000 km de red. Este nivel es fundamental porque es allí donde está en juego la calidad de la recogida de aguas residuales y el control de las aguas pluviales.

El alcalde tiene la obligación de garantizar la salud y la seguridad públicas. Por lo tanto, es responsable del suministro de agua potable a su municipio y de la calidad del agua distribuida, así como del saneamiento comunitario de las aguas residuales. Un municipio puede transferir sus competencias (agua o saneamiento) a un ente público de cooperación intermunicipal. También puede delegar su gestión en una empresa privada.

La ley de 2010 sobre el Compromiso Nacional con el Medioambiente especifica que la gestión de las aguas pluviales también es responsabilidad de los municipios. En Francia también tienen esta competencia los departamentos de París y la Petite Couronne, además del SIAAP (Sindicato Interdepartamental para el saneamiento de la conurbación parisina).

Los servicios de aguas de los departamentos y de París (ciudad con estatus de departamento)

En los departamentos de París, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis y Val-de-Marne y en la Grande Couronne, los sindicatos intermunicipales de saneamiento se encargan del transporte intermedio entre las autoridades encargadas de la recogida básica y los emisarios de transferencia a las plantas depuradoras.

Cada uno tiene un plan general de saneamiento vinculado al del SIAAP.

Como hemos visto antes, París es a la vez municipio y departamento, un caso único en Francia. De hecho, juega un papel esencial en la recogida de las aguas residuales de los parisinos «intramuros» (equivalente al SACMEX de México).

Es un servicio de la ciudad de París, la SAP (Section d'Assainissement de Paris), quien gestiona el sistema de alcantarillado parisino para recoger las aguas residuales y las de escorrentía dentro de la ciudad y transportarlas a las instalaciones de transporte y depuración interdepartamentales.

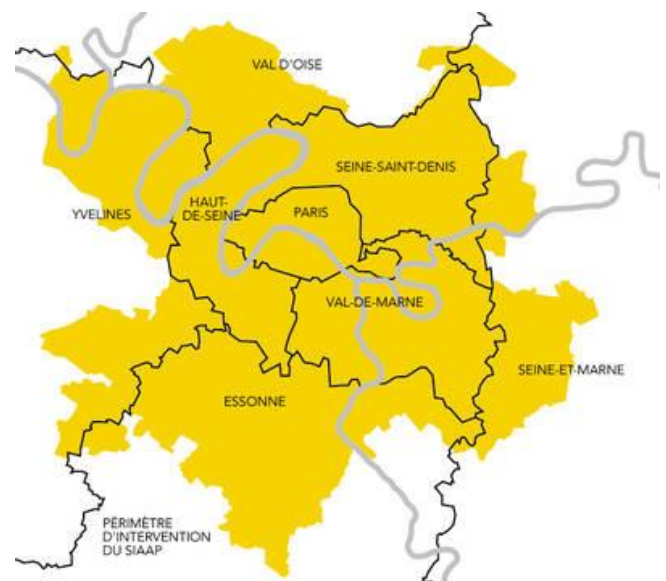
El Sindicato interdepartamental para el saneamiento de la conurbación parisina (SIAAP)

El SIAAP se creó en 1970 con París y los 3 departamentos de la Petite Couronne como su perímetro. Transporta y depura los efluentes de los municipios exteriores obligados por convenio. Actualmente, las estaciones del SIAAP depuran 287 municipios. La distribución es la siguiente. Essonne: 80 municipios, Hauts-de-Seine: 36 municipios, Seine-et-Marne: 16 municipios, Seine-Saint-Denis: 40 municipios, Val d'Oise: 29 municipios, Val-de-Marne: 47 municipios, Yvelines: 38 municipios, París: 1.

El SIAAP cubre un área de 1800 km² y cada día transporta y trata alrededor de 2,5 millones de m³

de aguas residuales en periodos secos. Garantiza el transporte a las plantas de tratamiento de los efluentes urbanos recogidos por las redes de saneamiento de los departamentos constitutivos y de los municipios o agrupamientos de municipios vinculados por convenio, la regulación de los flujos correspondientes y la depuración del agua antes de verterla al medio natural. Para ello, estudia, construye, equipa y opera trabajos interdepartamentales. También está autorizado a construir y explotar otras instalaciones importantes de saneamiento en condiciones que se definirán por acuerdo entre el sindicato y la administración local o el ente público interesado. Está administrado por 33 consejeros generales de los 4 departamentos constituyentes.

Figura 15. Zona de intervención del SIAAP (fuente: SIAAP)



El SIAAP expide autorizaciones de conexión y autorizaciones de descarga directa a la red del SIAAP solo a los usuarios que no pueden conectarse, en condiciones técnicas aceptables, ni a las redes comunales o intercomunales, ni a las redes departamentales de su municipio y su departamento. Las conexiones existentes con la red del SIAAP no se ven afectadas, a menos que se

Cree una nueva red local (municipal, intermunicipal o departamental)⁷.

El costo total en 2016⁸ ascendió a 400 millones de euros.

3.2. Partes implicadas en la construcción y el funcionamiento del sistema de saneamiento y la evacuación de aguas pluviales

La Metrópolis del Gran París

En su acta de creación se dispone que «La Metrópolis del Gran París se constituye con el fin de definir y poner en práctica acciones metropolitanas para mejorar el entorno social de sus habitantes, reducir las desigualdades entre los territorios que la componen y desarrollar un modelo urbano, social y económico sostenible como medios para un mayor atractivo y competitividad en beneficio de todo el territorio nacional».

La Metrópolis del Gran París (MGP) se creó el 1 de enero de 2016. Se trata de un ente público de cooperación intermunicipal (EPCI) que agrupa a los municipios de París y a los departamentos de la Petite Couronne (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne). Es decir, 124 municipios (y previo acuerdo de las autoridades locales de los municipios contiguos a la Grande Couronne). En total, la MGP podría reunir a 6,7 millones de habitantes de  le-de-France, lo que supone más de la mitad de los habitantes de la región.

La Metrópolis del Gran París se organiza en un consejo territorial. Los territorios reúnen municipios y, al menos, 300 000 habitantes. Se tienen en cuenta los campos de acción de los antiguos EPCI y CDT, y pueden ser objeto de ampliación o fusión. París es uno de estos

territorios. Los consejos tienen una función consultiva sobre las acciones llevadas a cabo por la MGP en su territorio.

Por lo tanto, las 19 intermunicipalidades existentes desaparecieron a finales de 2015 y fueron sustituidas por «territorios» sin personalidad jurídica ni poder fiscal propios.

La Metrópolis del Gran París tiene competencias metropolitanas en cinco áreas principales: ordenación territorial, política de vivienda, política urbana, desarrollo y planificación económicas, y protección del medioambiente y políticas del entorno social.

En particular, elabora un proyecto metropolitano, un plan general de ordenación urbana, un plan metropolitano de vivienda y alojamiento y un plan metropolitano de clima y energía.

La MGP participa en la aplicación del plan general de la región de  le-de-France (SDRIF). Para la ordenación territorial metropolitana, la MGP aprueba un PGOU metropolitano. Lleva a cabo operaciones de interés metropolitano, de reestructuración urbana, de infraestructuras y puede establecer reservas de tierras.

Históricamente competencias municipales, a veces delegadas a los entes de cooperación intermunicipal, el agua y el saneamiento se transfirieron progresivamente, hasta 2018, a los 12 territorios que componen la MGP. El SIAAP seguir  siendo responsable de transportar las aguas residuales en sus emisarios y tratarlas en sus plantas depuradoras.

Seine Grands Lacs

La institución Seine Grands Lacs, creada en 1969, agrupa a 4 departamentos (París, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne) que decidieron

⁷ Fuente: preámbulo del reglamento de saneamiento del SIAAP adoptado el 15 de octubre de 2017

⁸ Fuente: informe del SIAAP de 2016.

aunar sus fuerzas para regular los caudales del Sena y sus afluentes, continuando así la misión que anteriormente desempeñaba el antiguo departamento del Sena.

Esta misión es doble: limitar el riesgo de crecidas en la cuenca del Sena, principalmente en invierno y primavera, y sostener el caudal del río en verano y otoño. Emplea a 128 personas, incluidas 55 en el emplazamiento del lago-embalse Seine.

Para llevar a cabo esta misión, la institución dispone de cuatro estructuras que representan un volumen de almacenamiento de 830 millones de m³, de los cuales 205 millones de m³ corresponden al lago-embalse Seine. A esto se añade los 24 millones de m³ que EDF pone a disposición de los Grands Lacs de Seine (los embalses de Crescent y de Bois de Chaumeçon, situados en el Morvan).

El ente público Seine Grands Lacs gestiona 850 millones de m³ de capacidad de almacenamiento destinados a luchar contra las crecidas, a soportar los estiajes y a satisfacer los usos del agua de la megalópolis parisina, así como la refrigeración de la central nuclear de Nogent-sur-Seine (figura 7). Para un caudal de estiaje en el Sena de unos 85 m³/s en París, el 40 % proviene de presas de embalses.

La financiación de Seine Grands Lacs procede de parte del pago de una contribución de sus miembros por valor de unos 13 millones de euros. La mitad procede de la ciudad de París y de una tasa por los servicios prestados al sostener el estiaje. Esta tasa se aplica al volumen retirado aguas abajo de los 4 lagos-embalses gestionados por la institución a razón de 0,014 €/m³ retirados del 15 de junio al 15 de diciembre. En 2014, esto representó un ingreso de alrededor de 7,5 millones de euros. El presupuesto total, incluyendo todos los ingresos, es de unos 24 millones de euros al año, de los cuales

12,3 millones de euros son para el funcionamiento.



Figura 16. Embalses de regulación del caudal de los ríos Marne y Sena (fuente: Seine Grands Lacs).

La DRIEE

La Dirección Regional e Interdepartamental de Medioambiente y Energía (DRIEE) es un servicio descentralizado del Ministerio de Transición Ecológica y Solidaria.

La DRIEE es responsable de la aplicación de las políticas estatales en materia de medioambiente, energía y transición energética en Île-de-France, en particular en las áreas de:

- Prevención y adaptación al cambio climático.
- Preservación y gestión de los recursos.
- Preservación del patrimonio natural, espacios y paisajes, y la biodiversidad.
- Supervisión de la seguridad de las actividades industriales y de los vehículos.
- Ahorro de energía, desarrollo de energías renovables, explotación de los recursos energéticos subterráneos y seguridad del suministro de energía.
- Calidad del aire, prevención de la contaminación, el ruido, los riesgos naturales y

tecnológicos y los riesgos relacionados con el medioambiente, la gestión de desechos, la gestión de los suelos contaminados, la gestión de las aguas, la caza y la pesca, incluida la aplicación de las medidas policiales pertinentes.

- Apoyo al desarrollo de tecnologías ambientales y a la economía verde, al conocimiento y a la evaluación ambiental.
- Información, formación, educación del público sobre las implicaciones del desarrollo sostenible y concienciación sobre los riesgos, además de la mejora de los datos dentro de sus competencias.

Asegura la dirección y coordinación de las políticas aplicadas por otros servicios descentralizados. Garantiza la coordinación de la aplicación de esas políticas con las acciones de las instituciones públicas estatales implicadas.

Vela, dentro de sus competencias, por el respeto de los principios y la integración de los objetivos de desarrollo sostenible. Gestiona o ha gestionado la evaluación ambiental de esas acciones y asiste a las administraciones competentes en materia de medioambiente en los planes, programas y proyectos.

Promueve la participación pública en la elaboración de proyectos a los ministerios encargados del medioambiente y la energía, y que tengan repercusiones en el medioambiente o el calentamiento global.

La DRIEE se encarga, en parte o en su totalidad, de las misiones de supervisión del agua de carácter interregional o interdepartamental.

La Agencia del Agua Seine-Normandie

La AESN (Agence de l'Eau Seine-Normandie) es un ente público estatal bajo la supervisión de los ministerios de Medioambiente y Hacienda. Financia obras y acciones que contribuyen a la

preservación de los recursos hídricos y a la lucha contra la contaminación en la cuenca hidrográfica del Sena y los ríos costeros de Normandía a la vez que respeta el desarrollo de las actividades económicas.

Recauda los impuestos de los usuarios que se redistribuyen en forma de subvenciones o anticipos a las autoridades locales, los empresarios, los artesanos, los agricultores o las asociaciones que emprenden acciones de protección del medio natural. Es el Comité de Cuenca, que reúne a todos los grupos de usuarios del agua, servicios estatales y autoridades locales, el que toma las decisiones y da indicaciones.

El Comité de Cuenca adoptó por unanimidad la estrategia de adaptación de la cuenca al cambio climático a finales de 2016. En este marco, en febrero de 2017, deseaba modificar el 10º programa de ayudas, especialmente el desafío 8, «limitar y prevenir el riesgo de inundación», para financiar operaciones directamente relacionadas con el tema de las inundaciones. Por ejemplo, estudios para mejorar el conocimiento del riesgo de inundación y de inmersión marina. También puede ocuparse de operaciones que afecten tanto al medioambiente como a las inundaciones.

3.3. Financiación de la gestión del agua en la megalópolis parisina

Las inversiones del SIAAP

El presupuesto del SIAAP permite financiar su funcionamiento y más especialmente financiar las inversiones que conciernen principalmente a:

- **La depuración de las aguas residuales**
 - La creación de nuevas plantas depuradoras.
 - La construcción de nuevos equipamientos.
 - La renovación de las plantas existentes.

▪ **La optimización de la red de transporte de aguas residuales**

- La construcción de nuevas obras.
- La rehabilitación y expansión de las plantas existentes.
- La gestión de MAGES, el sistema de gestión de red continua, las 24 horas del día.

▪ **La gestión de las aguas pluviales**

- La construcción y explotación de 8 cuencas de almacenamiento y 4 túneles de depósito, incluido el túnel Ivry-Masséna (TIMA) con una capacidad de 80 000 m³.
- Los estudios para mejorar las técnicas de tratamiento y aumentar el control de las actividades del SIAAP.

Los recibos del agua de los usuarios como fuente de financiación

El recibo del agua sirve para apoyar la financiación de los servicios de abastecimiento de agua y de saneamiento, así como una parte importante de las políticas hídricas gracias a las tasas recaudadas por la agencia del agua, de acuerdo con el principio «el agua paga el agua» aplicado en Francia desde la Ley de Aguas de 1964 y reforzado por la DMA.

Cada uno de los servicios encargados del agua potable o del saneamiento cobra en el recibo del agua la tarifa que debe aplicarse al volumen vendido, lo que permite recuperar las sumas destinadas a financiar las tasas del servicio.

Para dar órdenes importantes sobre el presupuesto, en la figura 19 se indican los costos de funcionamiento e inversión de los 3 principales operadores, SIAAP, SEDIF (Sindicato de Aguas de Île-de-France) y Eau de Paris.

Figura 17. Costos de funcionamiento e inversión en millones de euros del SIAAP, el SEDIF y Eau de Paris (fuente: SIAAP)

	Fonctionnement (millions euros)	Investissements (millions euros)
SIAAP (2014)	551	563
SEDIF (2014)	335	148
Eau de Paris (2014)	177	84

El recibo del agua se divide en tres partes de financiación, respectivamente:

- La extracción y distribución de agua.
- La recogida y saneamiento de las aguas residuales.
- El 10 % de IVA y los impuestos recaudados por los organismos públicos, como las Agencias del Agua.

Según la expresión consagrada de «el agua paga el agua», el recibo del agua financia el 95 % de los costos del agua y el 5 % lo abonan el Estado y las administraciones locales; es decir, el contribuyente.

En los últimos diez años, la parte dedicada al saneamiento ha aumentado, especialmente como resultado de inversiones vinculadas a requisitos ambientales, principalmente europeos, cada vez más estrictos.

En esta parte intervienen varias autoridades: el municipio o el sindicato encargado de la recogida, el departamento encargado del transporte y a veces de recogida, y el SIAAP para el transporte final, el tratamiento de aguas y la eliminación de aguas residuales.

Por ejemplo, en 2014 la parte de la tasa devuelta al SIAAP ascendía a 0,910 €/m³ para los habitantes de París y la Petite Couronne y a 0,529 €/m³ para los sindicatos de la Grand Couronne asociados al SIAAP por acuerdo.

Gran parte de las diferencias observadas en los precios del agua se debe a las tasas municipales de saneamiento, que varían según el municipio de 0,08 a 1,265 €/m³. Una de las razones principales radica en la variación de la relación lineal de red/habitante según los municipios: mientras que

es inferior a 1 en París, puede llegar a 10 en los suburbios de viviendas unifamiliares. Al mismo tiempo, el volumen de agua vendida por metro de canalización es significativamente menor: de 30 a 50 litros/metro de canalización en comparación con 350 a 500 litros/metro en el corazón de la conurbación.

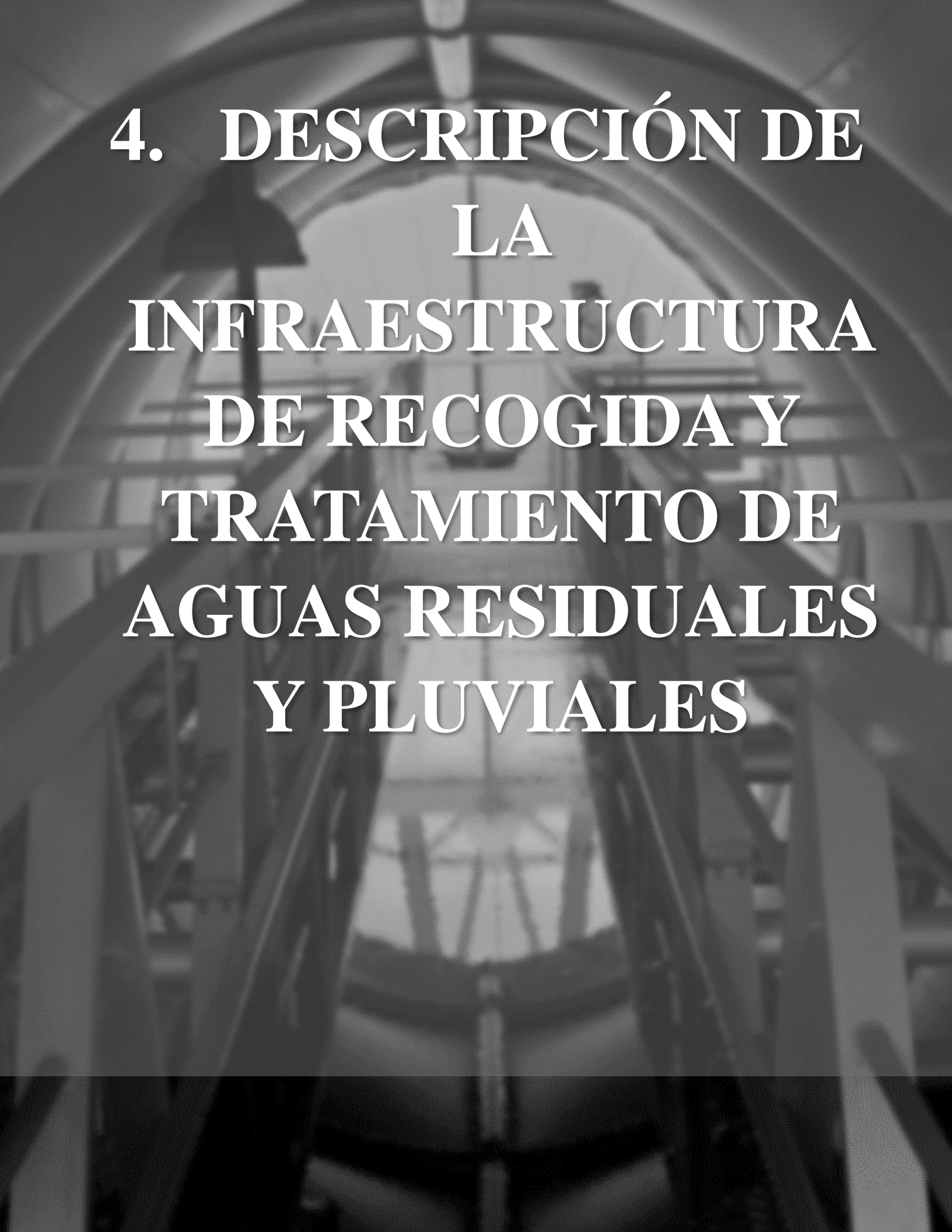
El legado de la historia también puede jugar su papel: la calidad de las terminaciones de las redes de saneamiento ha sido muy desigual a lo largo del tiempo⁹. Paradójicamente, las redes más antiguas no siempre son las más degradadas, aunque constituyen un importante problema patrimonial en el que se han realizado importantes inversiones, incluso recientemente, como es el caso del patrimonio de los acueductos parisinos. Los municipios situados en zonas saneadas por redes separativas suelen estar entre los más desfavorecidos: esas redes se desarrollaron en gran medida después de la Segunda Guerra Mundial y la prioridad en materia de saneamiento entonces era más bien hacerlo rápido que hacerlo bien.

En estos municipios se combinan una mala calidad de ejecución y una escasa selectividad de la recolección. Como resultado, se realizaron importantes trabajos de rehabilitación en las redes comunales. Por último, el contenido de los programas de trabajo varía enormemente de un municipio a otro en función de sus ambiciones. Esto plantea la cuestión de la eficiencia general del sistema.

La financiación de las medidas para luchar contra las inundaciones

Dado que cada vez se tienen más en cuenta los efectos del cambio climático, se están poniendo a disposición de los diversos agentes regionales numerosos mecanismos financieros para prevenir y combatir las inundaciones, dentro de un marco jurídico reforzado recientemente por la posibilidad de recaudar fondos específicos, según lo dispuesto en la ley GEMAPI (Gestión del agua, los medios acuáticos y la prevención de inundaciones).

⁹ Jean-Pierre Tabuchi, Grand Paris, Eau et Changement Global, SIAAP



4. DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE RECOGIDA Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y PLUVIALES

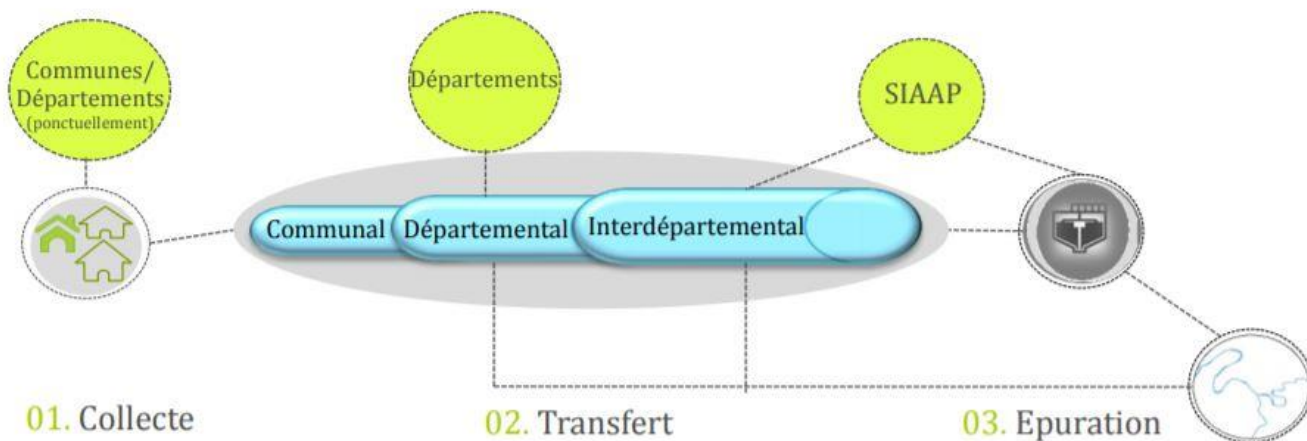


Figura 20. Distribución del saneamiento en la conurbación parisina entre los diferentes agentes (fuente: PIREN-Seine – fase VII – informe de 2016: Funcionamiento del sistema de alcantarillado a nivel de París y la Petite Couronne)

LEYENDA		
Figura 20. (Izda-dcha).		
Municipios/departamentos (puntualmente), departamentos, SIAAP		
Municipal, departamental, interdepartamental.		
1. Recogida	2. Transporte	3. Depuración

4.1. Organización y distribución entre agentes

Como vimos en el capítulo anterior, en el saneamiento de la conurbación parisina intervienen varias partes (figura 21). El saneamiento, del que suelen encargarse los municipios, tiene tres misiones principales: la recogida, el transporte y la depuración.

Una de las particularidades de la red de alcantarillado de París y la Petite Couronne es que la misión de transporte se lleva a cabo por etapas, gracias a una cadena de transferencia de los efluentes desde las casas hasta las depuradoras, de la que se encargan varias partes¹⁰:

1) Los municipios, o agrupaciones de municipios, aseguran la recogida y el transporte local hasta la red departamental.

2) La red departamental está gestionada por los 4 departamentos, de la que también son propietarios, gracias a los servicios de saneamiento internos. Salvo en el caso de excepciones geográficas o limitaciones técnicas especiales en que las viviendas o las industrias pueden conectarse directamente a la red departamental, su función principal se limita a transferir los efluentes de la red comunal a la red interdepartamental.

3) Los efluentes se incorporan entonces a las redes de transporte del SIAAP, que los transporta a una de sus seis plantas de tratamiento. Se estima que los efluentes de las actividades domésticas representan aproximadamente el 94 % del total que entra en las depuradoras en periodos secos y el 6 % restante proviene de actividades industriales.

4.2. Descripción del sistema

Para corresponder a la escala de comparación de las infraestructuras entre los sistemas de drenaje de aguas residuales y pluviales de México y París, aquí detallaremos principalmente las infraestructuras del SIAAP, los departamentos que se ocupan principalmente de los colectores intermunicipales y los municipios que tienen cada uno su propia red.

¹⁰ Recordatorio: las diferentes partes tienen la posibilidad de delegar toda o parte de esta actividad a un operador privado.

SECTEUR DESSERVI, DISTRIBUTEURS ET NOMBRE D'HABITANTS

Nombre d'habitants par commune intégrée ou raccordée au SIAAP (informations fournies par les distributeurs d'eau)

Département	Localité	Nb d'habitants
75	Paris	2206488
77	Seine-et-Marne	243080
78	Yvelines	770289
91	Essonne	866531
92	Hauts-de-Seine	1601569
93	Seine-Saint-Denis	1592663
94	Val-de-Marne	1279459
95	Val-d'Oise	663435
Total		9223514

Figura 21. Número de habitantes conectados por departamento a la red del SIAAP en 2017 (fuente: SIAAP, 2018).

Hoy, Île-de-France tiene más de 500 plantas depuradoras de aguas residuales en su territorio, para unos 12 millones de habitantes. La gran mayoría están situadas en los departamentos de Seine-et-Marne (284) e Yvelines (140). Sin embargo, tres cuartas partes de las aguas residuales producidas por la región las interceptan las seis plantas del SIAAP. Como se ha visto anteriormente, el territorio cubierto por el SIAAP está compuesto por la conurbación parisina (departamentos de París, Hauts-de-Seine, Val-de-Marne y Seine-Saint-Denis, 124 municipios y 6,6 millones de habitantes), así como por algunos municipios de Seine-et-Marne, Yvelines, Essonne y Val-d'Oise (162 municipios y 2,3 millones de habitantes) Cada día, 2,5 millones de m³ de aguas residuales pasan por los emisarios del SIAAP y se transportan a las plantas depuradoras, que descargan las aguas depuradas en el Sena o en el Marne, su afluente.

La red del SIAAP

La red de transporte del SIAAP está formada por 436 km de colectores y emisarios para el transporte de aguas residuales, de los cuales gestiona 218,5 km, mientras que el resto se gestiona de manera conjunta con París y los departamentos de Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis y Val-de-Marne. Se compone principalmente

de los cinco grandes emisarios que abastecen a la planta Seine Aval (red noroeste) y la red sudeste que abastece a la planta Seine Amont. Los emisarios, de los cuales el principal es el emisario general que se muestra en la figura 22, tienen un diámetro de entre 2,5 y 7 metros, a una profundidad de entre 10 y 100 metros.

Figura 22. Vista de un emisario (fuente: SIAAP)

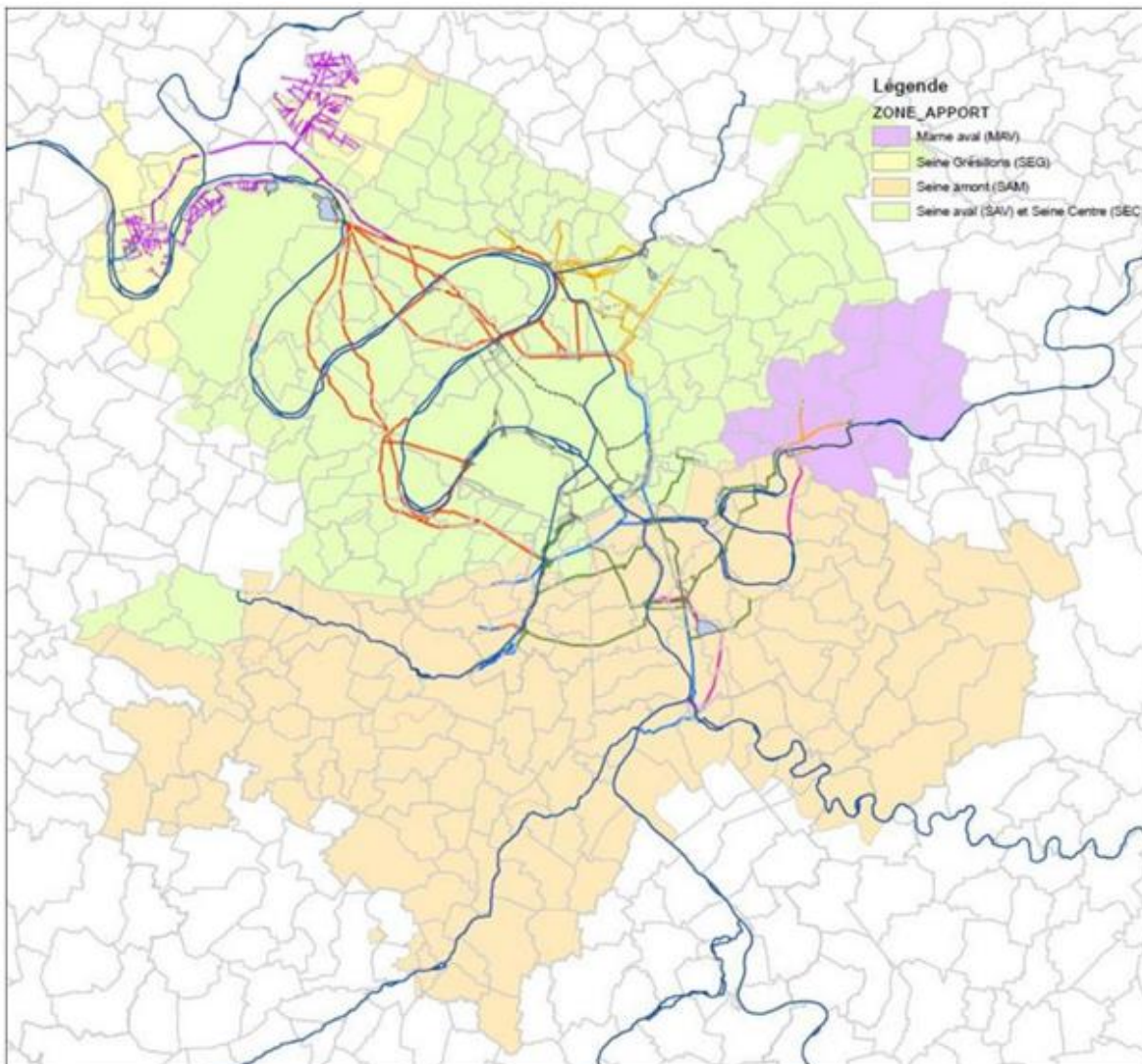


Figura 23. Las 6 plantas depuradoras del SIAAP y su capacidad de tratamiento (fuente: SIAAP)

LEYENDA. (Izq-dcha). Estación, fecha de la puesta en marcha, caudal de referencia actual y caudal en época de lluvias.

Stations d'épuration du SIAAP	Date de la première mise en service	Débit de référence actuel	Débit temps de pluie
Seine Aval (SAV) (Achères)	1940	2 300 000 m ³ /j	2 900 000 m ³ /j
Marne Aval (MAV) (Noisy-le-Grand)	1976	100 000 m ³ /j	125 000 m ³ /j
Seine Amont (SAM) (Valenton)	1987	800 000 m ³ /j	1 500 000 m ³ /j
Seine Centre (SEC) (Colombes)	1998	240 000 m ³ /j	404 800 m ³ /j
Seine Grésillons (SEG) (Asnières-sur-Seine)	2008	300 000 m ³ /j	315 000 m ³ /j
Seine Morée (SEM) (Blanc-Mesnil)	2014	75 000 m ³ /j	76 500 m ³ /j

Figura 184. Zona de entrada de las plantas depuradoras del SIAAP (Tabuchi y Penouel, 2014)



Para tratar los 2,5 millones de m³ de efluentes al día, el SIAAP tiene 6 plantas depuradoras (figura 24).

Como se menciona en el capítulo 2, históricamente, las aguas residuales de París y alrededores se canalizaban en su totalidad a la planta de Seine Aval (Achères), que sigue siendo hasta la fecha la mayor planta depuradora de Europa y recibe más del 80 % del volumen de aguas residuales recogidas por el SIAAP. Sin embargo, desde 1968, la capacidad de depuración de la planta de Achères ya no podía absorber los volúmenes vertidos por la región de París, que seguía desarrollándose. Surgió una política de separación de la planta en tres sectores: el sector de Achères, el sector de Seine Amont y el sector Marne Aval con la construcción de nuevas plantas depuradoras.

Desde entonces, el SIAAP ha seguido desarrollando y fortaleciendo la infraestructura de tratamiento de efluentes en las zonas bajo su competencia. Así, se están construyendo nuevas plantas para aligerar la carga de las principales, que están en constante mejora en términos de infraestructura y de operación.

Los aliviaderos de tormenta

25 aliviaderos de tormenta equipan la red del SIAAP para proteger las estructuras y evitar los desbordamientos en el sistema vial. Los principales son los de las plantas de pretratamiento de Clichy y La Briche, que descargan más del 80 % del volumen medido. Este punto se tiene en cuenta en el último plan general de saneamiento del SIAAP (2007-2021), que prevé la creación de cuencas de almacenamiento en esos lugares. Por último, cabe señalar que algunos de los aliviaderos de tormenta tienen más puntos de descarga en el medio natural, en particular a nivel de Seine-Saint-Denis. De hecho, estos son los puntos de bajada de la conducción de sobrevertidos, mientras que las

uniones con la red unitaria se encuentran más arriba.

Figura 195. Vista de las plantas depuradoras de Seine Aval y Grésillons (fuente: SIAAP)



Las instalaciones de almacenamiento

Por último, para limitar los vertidos en el medio natural, el SIAAP ha construido más de 12 instalaciones de almacenamiento en el sistema (figura 27). Están operadas por los encargados del saneamiento en la zona donde se encuentran y tienen una capacidad de retención total de más de 850 000 m³. Si añadimos los grandes emisarios de transporte, el SIAAP puede almacenar ocasionalmente casi 1,8 millones de m³. Asociadas a otras medidas de optimización de la red de alcantarillado (gestión remota de las estructuras, refuerzo de la red, etc.), las cuencas de almacenamiento han permitido reducir considerablemente las descargas en el medio natural, almacenando 6433 millones de m³ en 2014, por ejemplo.

Sin embargo, las instalaciones de almacenamiento tienen ciertas limitaciones vinculadas particularmente a las condiciones de explotación. Este es el caso de, por ejemplo, el TIMA. Este túnel de almacenamiento de aguas pluviales, con una capacidad de 80 000 m³ y una extensión de casi 2 km, se construyó para aliviar la red parisina, que sufría una presión importante durante periodos de lluvia, y evitar así la descarga de agua unitaria de tres aliviaderos de tormenta (Vincennes-Charenton, Périphérique Est y Bièvre). Sin embargo, este ambicioso proyecto se enfrenta a importantes dificultades operativas que se pusieron de manifiesto tras su puesta en marcha.

Figura 206. Cartografía de los principales aliviaderos del SIAAP. En verde fosforito, los aliviaderos más importantes: Clichy y La Briche (fuente: Tabuchi y Penouel, 2014)

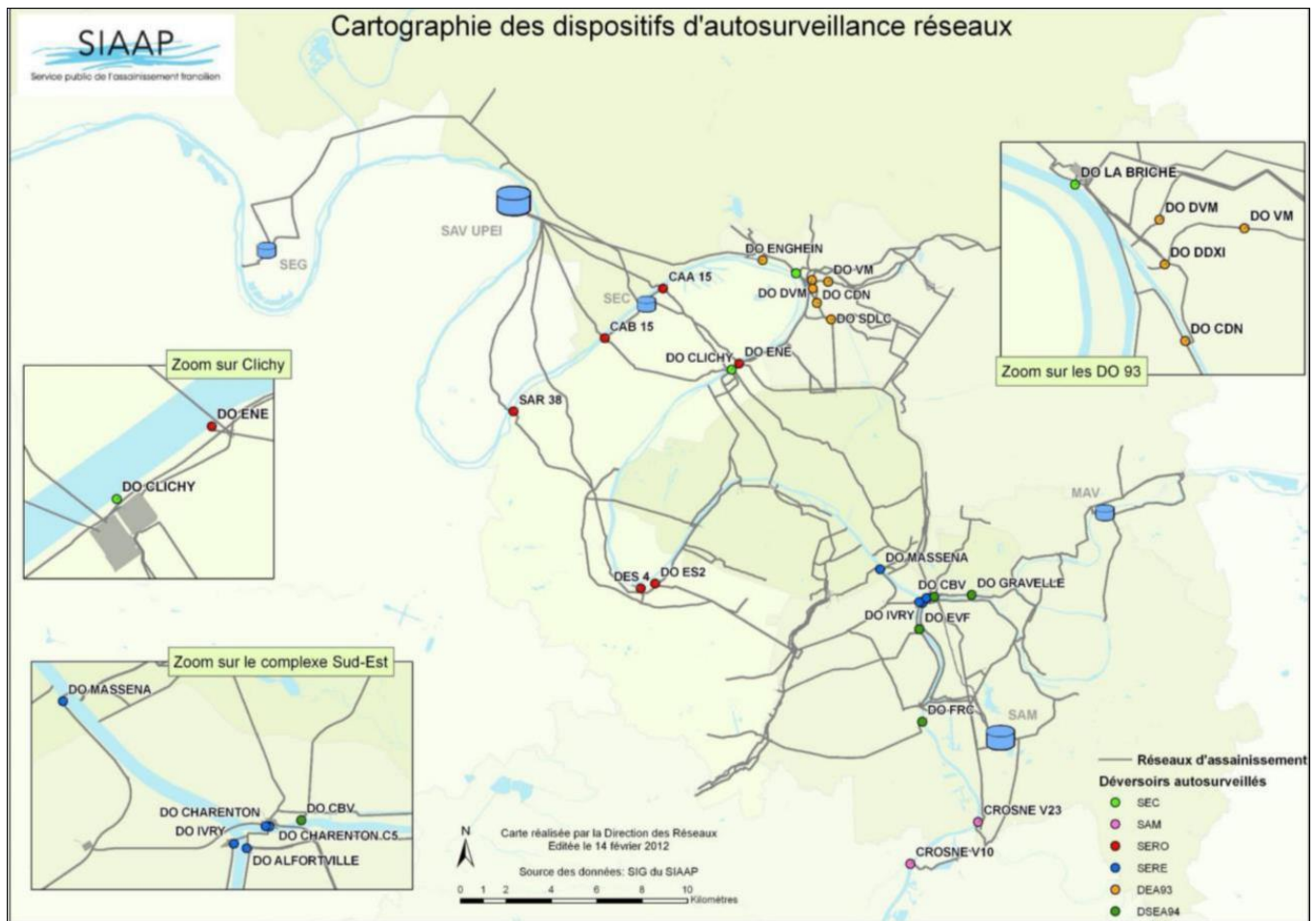


Figura 27. El TIMA (fuente: SIAAP)

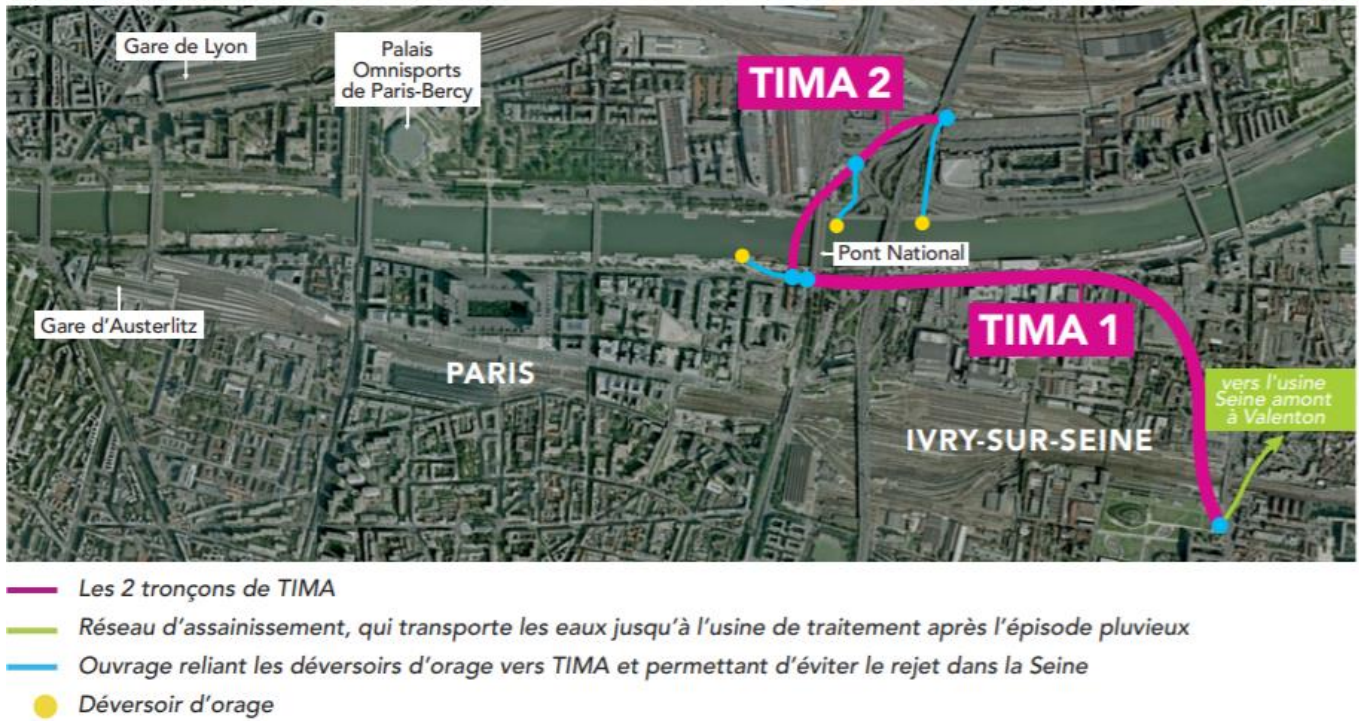


Figura 28. La instalación de almacenamiento de aguas pluviales de Arcueil (fuente: SIAAP)



LEYENDA

Figura 27.

Morado: Los dos tramos de TIMA

Verde: Red de saneamiento, que transporta las aguas hasta la planta de tratamiento después de las tormentas.

Azul: Estructura que conecta los aliviaderos de tormenta con el TIMA e impide que se descarguen en el Sena.

Amarillo: Aliviaderos de tormenta.

Figura 29. Las estructuras de almacenamiento y control del SIAAP, sus capacidades y la entidad que las opera. (fuente: PIREN-Seine - fase VII - informe de 2016: *Fonctionnement du réseau d'assainissement à l'échelle de Paris et sa petite couronne*)

Ouvrage de stockage	Capacité	Exploitant
1- Bassin de La Plaine à Saint-Denis	165 000 m ³	DEA93
2- Bassin Proudhon à Paris	17 000 m ³	SAP
3- Complexe des Cormailles (bassin + puits) à Ivry-sur-Seine	55 000 m ³	DSEA94
4- Bassin d'Arcueil à Arcueil :	24 000 m ³	DSEA94
5- Bassin EV3 de Vitry-sur-Seine	55 000 m ³	DSEA94
6- Bassin de L'Hay-les-Roses	84 200 m ³	DSEA94
7- Bassin d'Anthony	115 000 m ³	DDR SERE
8- Bassin des Brouillards à Dugny	90 000 m ³	DEA93
A- Tunnel-Réservoir Ivry-Massena	80 000 m ³	SIAAP
B- Tunnel-Réservoir du Ru de Chatenay	34 500 m ³	SIAAP
C- Tunnel-Réservoir Blagis-Cachan	25 000 m ³	SIAAP
D- Liaison Cachan-Charenton	110 000 m ³	DSEA94
TOTAL	854 700 m³	

La acumulación de objetos flotantes en esta estructura requiere una limpieza intensiva de la misma, lo que conlleva que no se usa durante 7 meses al año. Así pues, el TIMA está en funcionamiento desde el 1 de mayo hasta el 12 de septiembre, lo que contribuye a reducir considerablemente los vertidos de aguas unitarias durante el período de estiaje del Sena. Sin embargo, la inversión financiera y el tiempo en que la estructura está parada subrayan claramente los límites de las gigantescas estructuras de retención. Además, el SIAAP ya no prevé la continuación de obras de esta envergadura (APUR, 2015).

4.3. La tipología de la red de alcantarillado

La red pública de alcantarillado puede clasificarse en dos categorías:

- El sistema de saneamiento unitario, que recibe las aguas residuales y las pluviales en el mismo ducto.

- El sistema de alcantarillado separado, que recibe únicamente las aguas residuales en una canalización y las pluviales en otra, generalmente paralela y de mayor diámetro.

La red municipal

Los municipios de la zona están equipados con una red de alcantarillado unitaria o separada.

Aunque no hay reglas generales estrictas, se pueden observar ciertas características recurrentes, a saber:

- Los municipios más cercanos a París están dotados de una red unitaria.
- Los municipios de urbanización más reciente están dotados de una red separada.

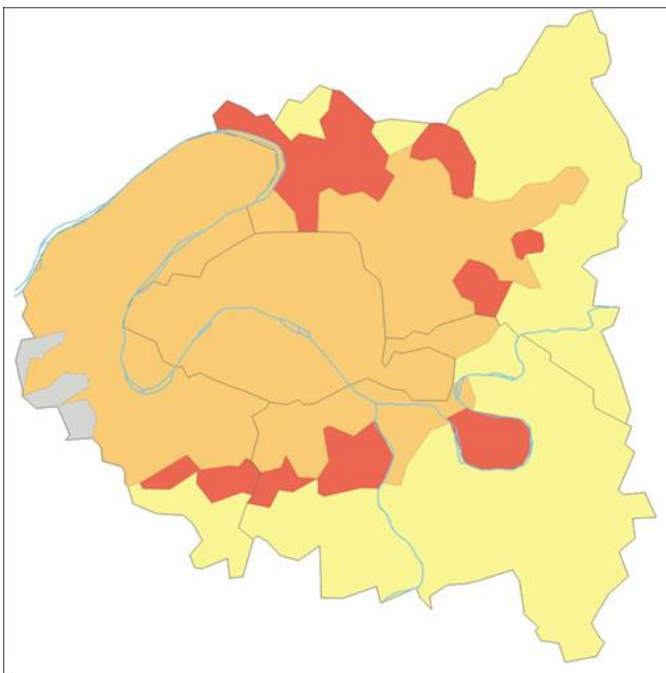
También hay ciertas zonas, denominadas mixtas, que estarán dotadas de una red unitaria y otra separativa, o una red unitaria y otra pluvial en paralelo.

La red departamental

Al igual que la red comunitaria, la red departamental puede ser unitaria o separativa y obedece a las mismas características geográficas (la unitaria está cerca de París). Sin embargo, los tipos de red departamental y municipal pueden diferir en ciertas regiones. Así, un municipio con una red de alcantarillado separativa puede ser atravesado por una red departamental unitaria que solo recoge aguas residuales o aguas residuales y pluviales.

También es posible observar ambos tipos de red en la misma zona, lo que se denomina zona mixta.

Figura 30. La tipología de la red departamental de alcantarillado de París y su Petite Couronne: naranja claro para el tipo unitario, amarillo para el tipo separativo y naranja oscuro para el tipo mixto. En gris, las zonas en las que no hay red departamental (fuente PIREN-Seine - fase VII - informe de 2016: *Fonctionnement du réseau d'assainissement à l'échelle de Paris et sa petite couronne*)



Son posibles varios tipos de conexiones entre las diferentes redes dispuestas en serie y que, por lo tanto, también fluyen entre sí:

- El sistema de aguas residuales puede descargar en el sistema unitario.
- La red de aguas pluviales puede descargar en el sistema unitario, especialmente en ausencia de un curso de agua natural.
- El sistema unitario puede descargar en el sistema de aguas residuales.

La red interdepartamental

Es principalmente unitaria (255,8 km), salvo las nuevas redes de aguas residuales que dan servicio a las plantas depuradoras (STEP en francés) de Seine Amont y Marne Aval en Val-de-Marne, Seine-Morée en Seine-Saint-Denis (81,9 km) y la conducción de sobrevertidos (99,2 km).



Figura 31. Emisario de Chatenay (fuente: SIAAP)

A person is seen from behind, sitting at a desk in a control room. The desk is equipped with several computer monitors. The background features a large wall display showing a complex network diagram with various nodes and connections. The overall scene is dimly lit, typical of a control room environment.

5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED

5.1. La necesidad de gestionar los flujos en tiempo real

Los problemas que plantea la gestión de flujos en época de lluvias, en particular para hacer frente al riesgo de inundaciones debidas al desbordamiento de los sistemas, llevaron a los departamentos a invertir en la gestión en tiempo real a partir de finales de la década de los 70.

El objetivo principal es optimizar su uso mediante diversas manipulaciones (cierre de aliviaderos, desviación de aguas, etc.). Esta gestión tiene en cuenta los trabajos de mantenimiento casi permanentes en la red, los accidentes y las paradas imprevistas, las limitaciones diarias de las depuradoras, así como los cambios meteorológicos y los niveles de agua en el Sena.

Además de la considerable contribución del modelo MAGE que se describe a continuación, el personal a cargo del funcionamiento se basa en una larga experiencia de gestión y en el conocimiento meticuloso de la red para gestionarla y tomar decisiones *ad hoc* que respondan mejor a los diferentes objetivos del SIAAP, a saber, la protección del medio natural.

Hoy en día, cada encargado tiene un sistema adaptado a sus limitaciones específicas, con un doble objetivo de controlar las inundaciones y proteger el medio receptor. Estos sistemas están interconectados y los intercambios entre los diferentes operadores son diarios. Una de las características más específicas de este sistema se apoya en las importantes posibilidades de interconexión entre las plantas depuradoras. Esta capacidad de transferir flujos entre plantas es lo suficientemente rara en el mundo como para destacarla.

Por último, cabe señalar que la implantación de un sistema de gestión de flujos de manera automatizada o semiautomatizada, en tiempo real y a distancia, tiene un requisito previo

indispensable que es el mantenimiento regular de la red y los instrumentos de medición.

5.2. Cada parte dispone de su propio sistema

Cada operador, desde los niveles más bajos, recoge y analiza sus datos operativos. También es responsable del mantenimiento de su infraestructura y debe informar de su trabajo al resto. Dado que aquí nos interesa principalmente la gestión de los flujos, y en vista de las escalas de comparación entre México y París, nos centraremos en los niveles más importantes: los departamentos y el SIAAP.

París

La ciudad de París dispone de un sistema propio, la gestión automatizada de saneamiento de París (GAASPAR en francés), que data de 1990. La gestión de los flujos está totalmente controlada desde una sala de supervisión que permite accionar las válvulas en tiempo real según los datos medidos en toda la red. Además de un funcionamiento más fluido y racionalizado, este instrumento ha mejorado el mantenimiento de la red, en particular al mejorar el desagüe, lo que ha permitido reducir considerablemente los atascos de las galerías.

Val-de-Marne

Figura 32. (Fuente: CG94)



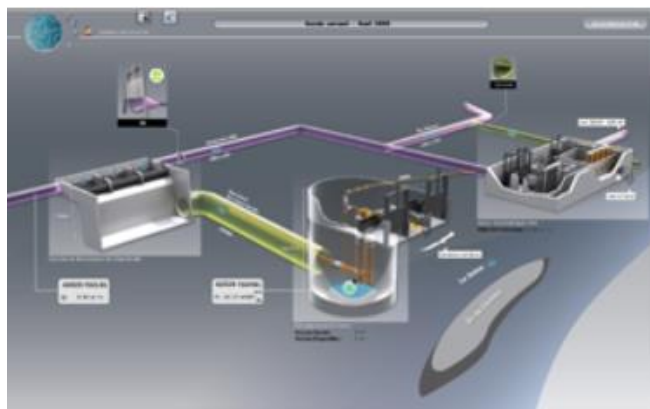
La red y las 149 instalaciones departamentales de Val-de-Marne se gestionan a distancia por el sistema «VALERIE 94» (*VAL-de-Marne Régulation Informatisée des Effluents* o regulación informatizada de los efluentes en Val-de-Marne), creado en 1993. La gestión dinámica de los flujos se lleva a cabo de forma continua para optimizar el rendimiento de la red, procurando al mismo tiempo reducir el riesgo de inundaciones debidas a desbordamientos de la red y limitar las descargas en los ríos. La fiabilidad del sistema de supervisión VALERIE 94 representa un gran desafío para el control de los equipos automatizados que posee la red.

Hauts-de-Seine

La red y los equipos del departamento de Hauts-de-Seine se administran a distancia mediante el sistema GAIA. Este sistema de telemetría y gestión remota supervisa la hidráulica de la red a través de 469 estaciones de medición, que se transmiten mediante 123 estaciones satelitales de transmisión remota. El sistema GAIA también supervisa a distancia el funcionamiento de las estaciones de bombeo y los umbrales controlados. Es la herramienta clásica para supervisar en tiempo real el funcionamiento de la red de

alcantarillado y sus principales equipos electromecánicos.

Figura 213. Vista de la herramienta GAIA (fuente: proveedor, TopKapi vision)



El departamento desarrolló esta herramienta de conocimiento desde la década de los 80 en torno a la medición de las precipitaciones y los caudales que circulaban en el alcantarillado. La información se adquiere en tiempo real y se usa para gestionar la red. También se archiva para poder usarla en estudios destinados a mejorar el servicio público de saneamiento y para la producción de datos de autosupervisión. El sistema GAIA incluye actualmente unos 750 «sensores» instalados en las redes de saneamiento, que miden los niveles, las velocidades o los caudales de los efluentes, las posiciones y el estado de las válvulas, los estados de encendido y apagado de las bombas, etc. Los operadores tienen acceso a toda la información de campo a través de sinópticos y gráficos, y reciben la información las 24 horas del día en tiempo real sobre cualquier mal funcionamiento de los equipos. Desde 2006, el proveedor delegado del servicio público de saneamiento, la Société des Eaux de Versailles et de Saint-Cloud (SEVESC), opera este sistema, aunque sigue siendo el departamento el que lo desarrolla. La estación central de supervisión fue renovada recientemente por el departamento (fuente: Direction de l'Eau CG92).

Seine-Saint-Denis

Figura 34. Vista de la sala de control de NIAGARA (fuente: CG93)



En Seine-Saint-Denis, la automatización del sistema se inició hace unos treinta años, y se concretó con la inauguración de un nuevo sistema de gestión centralizada en 2011: NIAGARA. Este permite el seguimiento en tiempo real del funcionamiento de la red del departamento. Proporciona una representación simbólica del funcionamiento hidráulico de la red, incluyendo indicadores e índices (nivel de llenado de las alcantarillas colectoras, caudal o posicionamiento de los elementos). 11 «pilotos» se turnan para vigilar el sistema: su función es anticipar el riesgo de precipitaciones, vigilar el funcionamiento hidráulico de la red primaria y gestionar los flujos en época de lluvias. La unidad central ofrece la posibilidad de controlar los equipos a distancia para dirigir los flujos, especialmente cuando llueve. Cuando los pluviómetros detectan precipitaciones por encima del umbral de alerta (5 mm en 1 hora), el piloto recibe la alerta. Le corresponde entonces aplicar las instrucciones de gestión de las instalaciones adaptadas a la situación.

El SIAAP

Figura 35. El centro de control MAGES (fuente: SIAAP)



En el caso del SIAAP, las decisiones se adoptan en el ordenador SAPHYRS (*Systèmes d'Aide au Pilotage HYdraulique des Réseaux du SIAAP* o Sistema de asistencia para la dirección hidráulica de las redes del SIAAP), que también se usa para centralizar los datos de los sistemas operativos de partes descritas anteriormente.

Para ello, los operadores decidieron poner en común los datos que usan para gestionar sus estructuras en su zona de cobertura: el sistema EDEN (*Échange de Données Environnementales* o Intercambio de datos medioambientales) se desplegó en el emplazamiento de cada operador y permite el intercambio y la centralización de las mediciones y el estado actual de las estructuras.

5.3. El sistema MAGES

Figura 36. Conexiones entre los diferentes sistemas de gestión (fuente: SIAAP)



[Despliegue en varias ubicaciones]

El origen

En la década de los 80, el SIAAP y los departamentos desarrollaron y pusieron en marcha los primeros sistemas centralizados de gestión a distancia que permiten a los operadores gestionar a distancia y en tiempo real los flujos que circulan por sus instalaciones, para limitar los vertidos al medio natural y controlar los desbordamientos de la red.

Esta etapa representa una gran evolución en la gestión, al pasar de un modo de gestión estático, en el que se fija una vez y para siempre la calibración de los dispositivos de control (válvulas, estación de bombeo, etc.), a un modo de gestión dinámico, en el que se ajusta la configuración de esos dispositivos en tiempo real y a distancia durante el suceso a controlar. En 1992, el SIAAP estableció en Clichy su primer sistema de gestión técnica centralizada (GTC) llamado SCORE (Sistema de Coordinación, Organización y Regulación del funcionamiento de los Emisarios) que, en ese momento, se limitaba a regular los flujos de periodos secos transportados por los emisarios que servían a la planta depuradora de Achères (poco caudal por la mañana debido al subconsumo

nocturno y mayor caudal por la tarde). Esta regulación se lleva a cabo usando el espacio libre de los emisarios como capacidad de retención para los picos de caudal diurno.

Al mismo tiempo, y a partir de 1987, el SIAAP estableció, en su zona sureste de operaciones, otros sistemas de gestión en lugares locales estratégicos para mejorar el tránsito de los efluentes hacia las plantas de Noisy le Grand y Valenton 1A. A lo largo de los años, estos sistemas se han mejorado y modernizado, en particular de acuerdo con el avance de las tecnologías informáticas. Su alcance se ha ampliado con la construcción de nuevas estructuras, plantas depuradoras y colectores, así como cuencas de almacenamiento para épocas de lluvia, que son fundamentales para el control del agua durante periodos de lluvia.

En 2001 se iniciaron los primeros debates para complementar los sistemas dinámicos de gestión de flujos con un instrumento de apoyo a la toma de decisiones destinado a optimizar el funcionamiento del sistema de saneamiento (red-planta) y, al mismo tiempo, asegurar la comunicación interactiva de los datos y la coordinación con todos los operadores del SIAAP y los departamentos de la Petite Couronne. Esta nueva herramienta, llamada MAGES (Modelo de Apoyo a la Gestión de Efluentes del SIAAP), se puso en marcha en 2008.

Objetivos y principios

La herramienta MAGES permite optimizar la orientación de los flujos hidráulicos entre las diferentes plantas del SIAAP en función de diversas limitaciones: capacidades disponibles en las plantas, tiempo durante el que no se puede usar, disponibilidad de instalaciones de transporte y almacenamiento, y el contexto hidrológico. El alcance de esta herramienta es amplio ya que tiene en cuenta las obras de saneamiento de los

consejos generales de París y su Petite Couronne (departamentos 75, 92, 93 y 94), cada uno de ellos gestor de una red de transmisión departamental que abastece a la red de transporte del SIAAP, que envía las aguas a sus plantas depuradoras a través de su propia red de transporte.

Este sistema está conectado a herramientas de previsión meteorológica con un horizonte máximo de 6 horas, cuya precisión se va afinando a medida que se desarrollan los hechos.

Por lo tanto, sus funciones pueden resumirse de esta manera:

1) Conocimiento global del sistema de saneamiento e informar a todos los operadores.

2) Predicción de tendencias del comportamiento del sistema de saneamiento.

3) Apoyo a la toma de decisiones para la gestión optimizada de las labores con el fin de reducir las descargas al medio natural.

Funcionamiento

El funcionamiento del MAGES se basa en los siguientes pasos:

1) Tras la recepción en tiempo real mediante el sistema EDEN de los datos de la red (caudales, altura, velocidad, estado de funcionamiento de las estructuras, etc.) vinculados a las labores interdepartamentales, a las labores departamentales de estructuración y a los datos de previsión meteorológica y pluviométrica, MAGES proporciona:

- Una visualización del estado hidráulico en el momento T del sistema de saneamiento, la situación actual, (caudales transitados, volúmenes almacenados y descargados, volúmenes que entran y salen de las plantas depuradoras, etc.).

- Una imagen de previsión del estado hidráulico de la red en un horizonte de 24 horas en periodos secos y de 6 horas en periodos de lluvia (escenario tendencial).

- Un escenario de gestión «optimizada» que corresponde a una configuración del sistema de saneamiento que limite al máximo las descargas al medio natural aprovechando al máximo las capacidades de depuración de las plantas de tratamiento y las capacidades de almacenamiento de los grandes emisarios (alrededor de 1 millón de m³) y de las cuencas de almacenamiento (833 000 m³).

2) Este escenario se traduce en forma de instrucciones para las cincuenta labores principales de control (posición de las compuertas, umbral de caudales, instrucciones de llenado de la cuenca, etc.) que se proponen al SIAAP y a los operadores de los departamentos.

3) Este ciclo de procesamiento se realiza cada 15 minutos, teniendo en cuenta todas las modificaciones realizadas en la configuración de la red (posición de las válvulas, por ejemplo), las variaciones de los caudales y las previsiones meteorológicas.

MAGES está a disposición de todos los operadores de la Petite Couronne en su respectivo sistema de gestión centralizada. Constituye un organismo unificador al permitir que todos tengan, al mismo tiempo, una visión global del funcionamiento del sistema de saneamiento y de su evolución gracias a la función predictiva que ofrece esta nueva herramienta. Constituye un instrumento de gran ayuda a la toma de decisiones para asegurar una gestión global y optimizada en tiempo real, crea el vínculo con sus socios departamentales sin sustituir su potestad de gestor en sus territorios. Además, permite adaptar rápidamente la distribución de los flujos entre las diferentes plantas de tratamiento en caso de obras o incidentes en alguna de estas plantas.

Figura 37. Cifras clave del MAGES (fuente: SIAAP)



LEYENDA

Figura 37.

610 km de redes modeladas (23 000 nodos de cálculo).
272 estaciones de gestión, 58 de ellas de practicaje (puntos de ajuste).
112 salidas (plantas y puntos de descarga).
1376 zonas de drenaje inyectadas en 5 001 puntos del modelo.
26 nodos de coordinación.
3 minutos, es el tiempo que tarda MAGES en establecer una simulación de 24 horas.

Hoy en día, este modelo se utiliza cada vez más, no solo para la prevención de las inundaciones por desbordamiento de la red, sino especialmente para mejorar el funcionamiento de la red de saneamiento para reducir la contaminación en el Sena y alcanzar los objetivos de estado de las aguas fijados por las normas europeas que se le imponen a Francia.

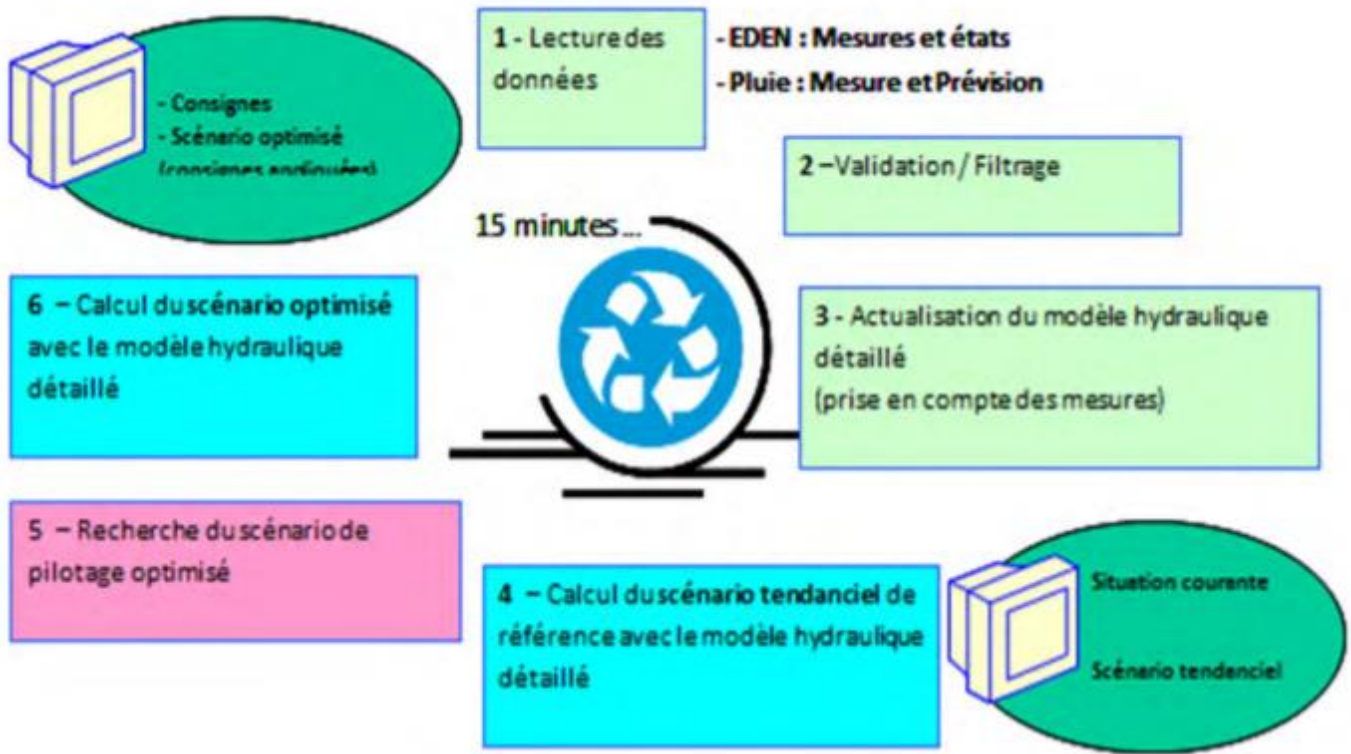
Además de su funcionalidad en tiempo real, las herramientas del MAGES pueden usarse también en diferido, especialmente para analizar el comportamiento de la red en condiciones específicas (cuando no se usan las estructuras, nuevos desarrollos, etc.).

Por último, no hay que perder de vista que, más allá de las prestaciones intelectuales informáticas del más alto nivel desarrolladas para su diseño (modelos matemáticos o sistema de previsión de lluvias, por ejemplo) y de las inversiones efectuadas para su aplicación, la herramienta MAGES es indisoluble del conjunto de las estructuras y equipos de gestión a distancia, tales como:

- Las estaciones meteorológicas locales (mediciones de altura, velocidad, caudal, pluviometría, etc.), cuyos resultados «alimentan» especialmente los modelos de MAGES.
- La red de transmisión remota en tiempo real de esos datos a la estación central de SAPHYRS en París.
- La automatización de las labores, que principalmente permite dirigir a distancia las unidades operativas.

Es precisamente la combinación de este conjunto de instrumentos y funcionalidades lo que constituye la «gestión dinámica de los flujos» que el SIAAP sigue mejorando, a lo que se añade el estudio, en el marco de su plan general de saneamiento, del desarrollo de nuevas instalaciones de almacenamiento.

Figura 38. Cálculo de escenarios del MAGES (fuente: SIAAP)



LEYENDA

Esquina superior izquierda: Consignes. Escenario optimizado
 1. Lectura de datos. EDEN: medidas y estados. Lluvia: medida y previsión. 2. Validación/filtrado.
 3. Actualización del modelo hidráulico detallado (tomar en cuenta las medidas)
 Esquina inferior derecha: situación actual. Escenario tendencial.
 4. Cálculo del escenario tendencial de referencia con el modelo hidráulico detallado.
 5. Búsqueda del escenario de pilotaje optimizado
 6. Cálculo del escenario optimizado con el modelo hidráulico detallado.

An aerial photograph of a modern urban park. The foreground shows a green lawn with several young trees supported by wooden stakes. There are concrete benches and a small concrete structure. A dirt path winds through the park. In the middle ground, there are more trees and a large, light-colored structure that looks like a playground or a public space. In the background, there are several tall, modern apartment buildings or office buildings. The sky is clear and blue.

6. PERSPECTIVAS

6.1. Principales problemáticas

La gestión del agua en la megalópolis parisina tendrá que hacer frente a dos grandes retos en los próximos 50 años:

- Las consecuencias de los cambios demográficos previstos en la evolución de la Metrópolis del Gran París.
- Los efectos del cambio climático.

Sobre estos dos retos proponemos hacer balance de los conocimientos existentes y las consecuencias previsibles de aquí a 2040-2070.

Evolución prevista en la megalópolis parisina

En los últimos cincuenta años se han llevado a cabo varias reformas territoriales de descentralización para reforzar la proximidad entre los ciudadanos y las instancias de decisión, además de permitir que se encuentren soluciones a los diferentes desafíos en los niveles pertinentes al aplicar el principio de subsidiariedad.

Teniendo en cuenta que la megalópolis parisina está experimentando un proceso de metropolización en ciertas áreas, especialmente en la vivienda, la planificación urbana o el transporte, y la necesidad de reforzar su reconocimiento internacional más allá de la propia ciudad de París, una ley aprobada en enero de 2014 estableció la Metrópolis del Gran París, que cobró forma el 1 de enero de 2016. La creación de este nivel de coordinación y planificación puede parecer pertinente ante desafíos que trascienden los límites de los municipios o departamentos, como lo son, además, a esta escala las cuestiones de suministro de agua potable o saneamiento, y la adaptación al cambio climático. Su aplicación será gradual y muchas de sus competencias siguen estando pendientes de precisar. Su perímetro corresponde básicamente al de París y los

departamentos de la Petite Couronne, mientras que la megalópolis parisina tiene un perímetro mayor, como ya se ha mencionado. Por lo tanto, no es completamente coherente con el territorio de la megalópolis parisina y con su funcionamiento, especialmente en cuestiones relacionadas con el agua y el saneamiento.

Aunque el proyecto territorial que llevará a cabo la nueva institución metropolitana está todavía en construcción, ya hay dos aspectos que estructuran el proyecto metropolitano:

- El fortalecimiento del transporte público con la creación de nuevas redes periféricas de transporte público que crearán una nueva dinámica de urbanización alrededor de las nuevas estaciones.
- Objetivos ambiciosos en cuanto a la construcción de viviendas.

Así pues, en el territorio administrativo del SIAAP se prevé un aumento del 9 % de la población de la megalópolis en el período 2012-2030, es decir, casi un millón de habitantes cuya llegada puede tener un impacto significativo en la gestión de las aguas residuales y la gestión de nuevas impermeabilizaciones.

Los efectos del cambio climático

Los efectos del cambio climático en la hidrología del Sena se han abordado principalmente a través de varios proyectos de investigación, junto con los interesados operacionales:

- «**RexHySS**», realizado por un equipo multidisciplinar entre los años 2007 y 2009, estimó las consecuencias del cambio climático en el régimen hidrológico del Sena para 2050 y 2100.
- «**Climaware**», parte de cuya labor se centró en la cuenca del Sena y en el papel de las presas-embalses. Su objetivo es proponer estrategias de adaptación en la gestión de los recursos

hídricos como respuesta al impacto del cambio climático en las aguas superficiales.

- El programa «**Explore 2070**». Estas simulaciones se sitúan en un horizonte de 2045-2065 y se basan en la hipótesis de evolución climática A1B del Grupo intergubernamental de expertos sobre la evolución del clima (GIEC).

Todos estos estudios coinciden en que se producirán grandes cambios en la hidrología de la cuenca del Sena a partir de 2050. La situación de abundancia de recursos hídricos que hemos experimentado ya no sería adecuada. Por otra parte, no se da una señal estadística clara sobre la evolución del peligro de inundación.

Los resultados obtenidos hasta la fecha muestran que, para 2050, es el peligro de sequía el que tiene más probabilidades establecidas de empeorar. Por lo tanto, quedan por realizar estudios e investigaciones en estos campos: la evolución de la agricultura en las necesidades hídricas, la evolución de la gestión de estas estructuras y sus características, y la evolución del consumo de agua potable para uso doméstico. Una reflexión emprendida por los servicios estatales y todas las partes interesadas permite llegar a un diagnóstico compartido sobre la sostenibilidad de la conurbación parisina, especialmente, pero no únicamente, en el ámbito del agua.

En cuanto al saneamiento, el informe subraya que «las consecuencias del cambio climático sobre la capacidad de dilución de los desagües serán un factor importante para mantener el buen estado de las masas de agua superficiales (...). A nivel de la región Île-de-France, los vertidos y extracciones aumentarán innegablemente la presión de la conurbación parisina sobre los medios acuáticos y los recursos hídricos, ya de por sí debilitados, en un contexto de aumento de las tensiones debido al cambio climático».

6.2. Saneamiento y depuración

La gestión del saneamiento en periodos de lluvias

Para el horizonte 2020-2030, el primer desafío es lograr una buena calidad del Sena y mantenerlo en buenas condiciones. Conseguir este objetivo depende en primer lugar de la capacidad futura para gestionar el impacto del sistema de saneamiento en periodos de lluvias. Se trata de un complejo desafío que requerirá construir infraestructuras para eliminar los impactos actuales. Estos trabajos ya han comenzado. Sin embargo, el principal desafío es estabilizar los aportes de agua de escorrentía a su nivel actual en una conurbación con una creciente impermeabilización con relación a las grandes transformaciones urbanas en el área de la Metrópolis del Gran París.

Explotar el recurso que constituyen las aguas residuales urbanas

Las aguas residuales urbanas son un recurso que todavía está infrautilizado. Tiene un contenido energético ligado a su temperatura y especialmente a su contenido en carbono que puede valorarse más que en la actualidad. La nueva posibilidad de inyectar biometano producido a partir del biogás de la metanización de aguas residuales abre nuevos horizontes en cuanto a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, es muy interesante replantearse por completo el proceso de tratamiento de las aguas residuales para así preservar la mayor cantidad posible de biogás para producir biometano, ya que este reemplaza totalmente al metano fósil. Además, con los certificados de origen de la energía, se puede orientar, por ejemplo, como alternativa al transporte de gasoil, que es mucho más contaminante que el CO₂.

El fósforo y el nitrógeno también son recursos que deben tenerse en cuenta. El fósforo porque es un recurso disponible en cantidades limitadas y las aguas residuales contienen cantidades nada desdeñables del mismo. El nitrógeno porque la producción de fertilizantes nitrogenados depende totalmente del metano fósil y las aguas residuales contienen más del 95 % del nitrógeno ingerido por una persona.

6.3. La gestión del agua en la ciudad y la prevención de inundaciones

Tanto por razones de protección del medio natural como para reforzar la presencia del agua en la ciudad, se está produciendo un cambio de paradigma iniciado en el siglo XIX y que continuará durante todo el próximo siglo, ya que se trata de una evolución lenta ligada a la velocidad de la renovación urbana.

Los cursos de agua urbanos

Por un lado, se está produciendo una renaturalización de los cursos de agua urbanos, algunos de los cuales se han transformado en alcantarillas cerradas. Corresponde a la voluntad de la población de redescubrir el baño y la naturaleza y a la voluntad de los poderes públicos de redesarrollar la biodiversidad en el medio urbano a través de corredores marcados por la presencia del agua y los espacios naturales, como el proyecto *Trame verte et bleue*. Esta renaturalización plantea dificultades tanto prácticas como teóricas. En primer lugar, la definición de objetivos ambientales para estos cursos de agua que seguirán estando muy antropizados. Varios cursos de agua son objeto de especial atención. Se espera que en los próximos años la gente se bañe en los ríos Marne y Sena, cuya calidad ya es compatible varios días al año con esta actividad en periodos secos.

Monografía del sistema de drenaje de la metrópolis de París

Las aguas pluviales y la urbanización

Por otra parte, en periodos de lluvias, además de las soluciones técnicas centralizadas para el control de los vertidos en dichos periodos, se añade ahora una estrategia que tiene por objeto infiltrar primero al máximo las aguas pluviales y evitar así toda descarga a las redes y frenar la escorrentía en las cuencas hidrográficas.

Figura 39. *En ville, faire de la pluie un atout*, publicación de la Agence de l'Eau Seine-Normandie sobre la gestión en origen de las aguas pluviales (fuente: Agence de l'Eau Seine-Normandie)



Hacer la ciudad más permeable, reforzar la evapotranspiración y la recuperación de las aguas pluviales para su uso en edificios externos e internos se va a convertir en una necesidad total. Esta política va más allá del saneamiento y debe llevarse a cabo junto con otras políticas urbanas, en particular las de vivienda y urbanismo.

Las partes encargadas del agua en la metrópolis parisina son cada vez más conscientes de ello. Cada vez más autoridades locales integran la gestión de las aguas pluviales en origen en los documentos de urbanismo y la Agence de l'Eau Seine-Normandie integra progresivamente esta noción en su acción territorial, financiando proyectos, publicando guías y aconsejando a las partes con soluciones adaptadas a sus necesidades.

Las inundaciones de mayo y junio de 2016 pusieron de manifiesto la gran vulnerabilidad de los territorios afectados. Sin embargo, la sensibilidad ante las inundaciones de los enclaves situados en zonas inundables y más allá de ellas se conoce o se tiene en cuenta de manera incorrecta o incompleta. Por lo tanto, es esencial hacer que los territorios no sean tan vulnerables para limitar los daños y sufrir menos al facilitar la vuelta a la normalidad: vuelta a la vivienda, continuación con las actividades, duración de las alteraciones, etc.

Las soluciones pueden encontrarse a diferentes niveles.

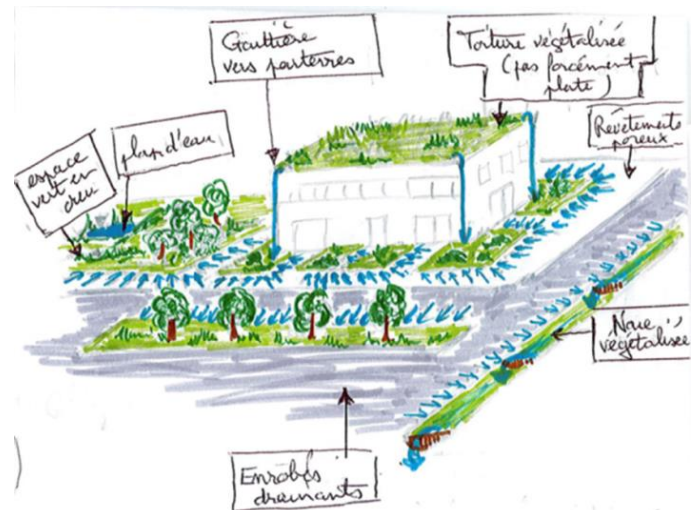
- **Reducir la vulnerabilidad de los edificios y redes existentes en las zonas inundables** a nivel de barrio, municipio y mancomunidad para integrar las interdependencias. Antes de iniciar los trabajos es necesario evaluar con precisión la vulnerabilidad mediante diagnósticos para elegir las medidas adecuadas.
- **Controlar la urbanización con planes de prevención y protección ante riesgos** (planes de prevención de riesgo de inundación y de riesgos costeros), bien conocidos por los agentes regionales. Su aplicación ha permitido limitar el establecimiento de nuevos desafíos en zonas de alto riesgo y reducir la vulnerabilidad de las zonas ya urbanizadas mediante la introducción de preceptos de edificación. Sin embargo, las responsabilidades

de las autoridades locales y los planificadores siguen siendo importantes para limitar la urbanización en las zonas inundables e integrar los riesgos de inundación en la planificación.

- El **intercambio de conocimientos sobre los desafíos expuestos** debe fomentarse más. Aunque el conocimiento de los peligros suele ser bueno gracias a los diversos mapas existentes (atlas de zonas inundables, planes de prevención de riesgos, mapas de zonas en importante riesgo de inundación, etc.), aún es necesario mejorar el conocimiento de los desafíos y su vulnerabilidad para adoptar medidas concretas de reducción.

Ejemplos de acondicionamientos dispuestos para la gestión en origen de las aguas pluviales:

Figura 40. Diseño de infraestructuras de gestión en origen de las aguas pluviales (fuente: AESN)



Reducir las superficies impermeabilizadas en las ciudades ayuda a limitar el riesgo de inundación.

Se trata de planificar de otra manera y llevar a cabo proyectos que reviertan la impermeabilización, así como nuevos diseños que infiltren las aguas pluviales. Es el concepto de «ciudad-esponja».

De hecho, infiltrar las aguas pluviales lo más cerca posible de donde caen permite reducir la

contaminación al disminuir la escorrentía y reducir los riesgos de inundación por desbordamiento de las redes de saneamiento en los ríos.

También son soluciones más económicas que recoger las aguas pluviales en las redes. Ya se dispone de soluciones operativas y probadas para los planificadores: aparcamientos y techos con vegetación, pavimentos filtrantes, etc.

Estas soluciones también ayudan a mejorar la calidad de vida en la ciudad y a recargar las capas freáticas.

Algunos ejemplos de disposición:

- Techos con vegetación.
- Redes viales.
- Disposición de aparcamientos.



Figura 41. Aparcamiento con vegetación: Stade du Lac en Courcouronnes (fuente: AESN).

Las instalaciones con vegetación delimitan diferentes áreas de la red vial: calles peatonales, carriles para bicicletas y coches, aparcamientos. Permiten reconectar dos barrios. Las aguas de escorrentía se gestionan por infiltración en los espacios verdes recién creados. Estas instalaciones permiten ralentizar los caudales en pendiente.

Elementos sobre la prevención y gestión de inundaciones

▪ La normativa «barrios resistentes»

Figura 42. Marquesina y estación de bicicletas con vegetación (RER Rueil-Mobipole-92)



Hasta la fecha, a pesar de las implicaciones que pueden verse afectadas, el impacto directo de una crecida parece tenerse en cuenta solo de manera imperfecta en la planificación urbana, y casi nunca se consideran los efectos indirectos debidos al fallo de las redes estructurales.

En este contexto, la estrategia local de gestión de los riesgos de inundación en la metrópolis de Île-de-France, que se aprobó en diciembre de 2016, se marca el diseño de barrios resistentes como uno de los objetivos prioritarios.

Con el fin de apoyar los proyectos de renovación urbana en las zonas inundables se está ultimando un proyecto de ordenanza elaborado por un grupo de trabajo que reúne a organismos estatales, planificadores, autoridades locales, académicos y expertos. Esta ordenanza permitirá compartir los objetivos a alcanzar para considerar un distrito como resistente a las inundaciones, a saber:

- No agravar el riesgo de los problemas existentes en el sector.

- Facilitar la gestión de la crisis y acortar el tiempo necesario para volver a la normalidad dentro del barrio y con relación a los barrios vecinos.
- Asegurar el desarrollo de la cultura de riesgo entre los usuarios de estos barrios.

Figura 43. Remodelación de la calle rue Sœur Valérie en Asnières-sur-Seine, departamento 92. (fuente: AESN)



- **La declaración de intenciones firmada junto con los operadores de la red en 2016**

El conocimiento de las debilidades de las redes y su interdependencia frente a las inundaciones y el intercambio de datos sobre ello entre los operadores de red y las autoridades locales son esenciales para prever la vulnerabilidad de los territorios y la gestión de las crisis.

En el marco de la elaboración de una estrategia local de gestión de los riesgos de inundación en la metrópolis de Île-de-France, el prefecto de la región Île-de-France y el prefecto de Policía firmaron, en abril de 2016, una declaración de intenciones con los operadores de red en los ámbitos de energía, telecomunicaciones, agua, saneamiento y transporte. El objetivo era para avanzar en el tema y definir acciones concretas para preparar la crisis y facilitar el retorno a la vida normal tras la crecida. Esta declaración de intenciones formaliza el compromiso de los

operadores de reducir la vulnerabilidad de su red a las inundaciones.

- **Anticiparse a las crisis**

En Francia la vigilancia meteorológica (tormentas, vientos fuertes, lluvias-inundaciones, olas-sumersión) la garantiza Météo-France. En caso de crecidas, la vigilancia la garantiza el servicio central de hidrometeorología y apoyo al pronóstico de inundaciones (SCHAPI) y los servicios de previsión de crecidas (SPC) de los departamentos regionales de planificación, medioambiente y energía (DREAL y DRIEE en Île-de-France). El mapa de vigilancia y los boletines se distribuyen simultáneamente y sin diferencias a los cuerpos y fuerzas de seguridad del estado mediante mensajes, y a los medios de comunicación y la población a través de la web vigicrues.gouv.fr según cuatro niveles de vigilancia.

Algunas autoridades locales han establecido una red de vigilancia complementaria a la del Estado en colaboración con los SPC. Esta extensión de la vigilancia se fomenta para los territorios con grandes retos.

En los casos más graves, la vigilancia se traduce por parte de las autoridades en alertas (emisiones de radio y televisión, sirenas, etc.).

- **Organizarse para reducir el tiempo necesario para volver a la normalidad**

El Estado y las autoridades locales, en todos los niveles territoriales, participan en la gestión de las crisis de riesgo de inundaciones. Esta gestión de crisis abarca todos los procesos organizativos, las técnicas y los recursos utilizados para prepararse para una crisis, para afrontarla y para elaborar una evaluación.

Estar preparados permite cuestionar el funcionamiento y la resistencia de las redes estructurales (agua, electricidad, saneamiento,

transporte, etc.), y también de las redes de servicios (salud, alimentación, recogida de desechos, etc.) en caso de inundación, durante y después de la misma, para una vuelta a la normalidad fácil y rápida: vuelta a la vivienda, continuación con las actividades, duración de las alteraciones, etc.

Figura 44. Anticipación de la gestión de residuos en Nemours el 6 de junio de 2016: un ejemplo de una solución a desarrollar: (© P. Villebeuf MAXPPP)



▪ **Ejercicios de preparación para la gestión de crisis**

Del 7 al 18 de marzo de 2016, la prefectura de Policía (Zona de Defensa y Seguridad de París) organizó, con el apoyo de la Unión Europea, un ejercicio de gestión de crisis, EU Sequana 2016, que simulaba una gran inundación en Île-de-France como en 1910 por la crecida del Marne y el Sena. Este ejercicio a gran escala permitió:

- Ofrecer la oportunidad de que 87 agentes públicos y privados de Île-de-France participasen en un ejercicio para poner a prueba su capacidad de respuesta a dicho suceso y reforzar la coordinación de sus acciones.
- Hacer funcionar el mecanismo europeo de protección civil.
- Llamar la atención de los medios y la población sobre las crecidas para desarrollar una cultura del riesgo de inundaciones entre ciudadanos, empresas e instituciones públicas.

Figura 45. Ejercicio de preparación para la gestión de crisis «EU Sequana 2016» (fuente: AESN)



6.4. Nuevos usos del agua con relación al cambio climático

Se están estudiando nuevos usos del agua para, por ejemplo, combatir las islas de calor urbanas durante las olas de calor, al reducir el albedo y permitir un aumento de la vegetación para incrementar la evapotranspiración o la evaporación directa del agua. En este contexto, el hecho de que la ciudad de París tenga una red de agua no potable es una ventaja. Además de la capacidad de producir frigorías o calorías para climatizar los edificios, esta red también puede permitir enfriar la ciudad con un agua diferente a la destinada al consumo humano. Sin embargo, estos desarrollos podrían entrar en conflicto con otros usos. De hecho, el suministro de esta red proviene de extracciones en el Marne y el Sena. Por lo tanto, hay estudios en curso para identificar recursos alternativos, especialmente el uso de aguas pluviales y el agua de bombeo para disminuir las capas freáticas. En función de la evolución de las futuras tensiones sobre los recursos, algunos agentes plantean la cuestión del uso del agua purificada. De la misma manera,

aunque el enfoque técnico hasta la fecha se ha centrado más en los sistemas centralizados, no podemos descartar cambios en la gestión del agua que aúnen soluciones de infraestructuras con soluciones descentralizadas en las que el propio usuario podría convertirse en agente. Este enfoque es ya, en parte, efectivo en la gestión en origen de las aguas de escorrentía.
