

---

# Innovación en pro de la sostenibilidad

---

PID\_00272045

Mireia Hernández  
Manuel Herce Vallejo  
Eduard J. Álvarez-Palau

---

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 6 horas

---



**Mireia Hernández**

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos con especialidad en Urbanismo. Posgrado en Gestión Privada de Infraestructuras y Elementos de Planificación. Doctorando en Ingeniería e Infraestructuras del Transporte. Trabaja como proyectista en PCE Engenharia (Rio de Janeiro). En la UOC es profesora de "Territorio, infraestructuras y servicios urbanos" en los programas de Ciudad y Urbanismo y ha sido profesora del curso de "Território e infraestructuras" del Master de Gestión de la Ciudad.

**Manuel Herce Vallejo**

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor titular de Urbanismo y ordenación del territorio de la Universitat Politècnica de Catalunya. Exdirector del Departamento de Infraestructuras del Transporte y Territorio de esa universidad y del Área de Gestión de la Ciudad y Urbanismo de la UOC.

**Eduard J. Álvarez-Palau**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y Doctor en Ingeniería e Infraestructuras de Transporte por la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC). Actualmente trabaja como investigador postdoctoral en la Universidad de Cambridge, y mantiene vínculos con diferentes grupos de investigación como EXIT (UPC), HGISE (UdL) y Territori i Societat (UdL). Anteriormente, trabajó como ingeniero proyectista y como consultor sobre aspectos territoriales. En la UOC es profesor de "Territorio, infraestructuras y servicios urbanos" y de "Transporte y movilidad sostenible" en los programas de Ciudad y Urbanismo. Ha sido también profesor asociado en la UPC - ETSECCPB.

La revisión de este recurso de aprendizaje UOC ha sido coordinada por la profesora: Mirela Fiori (2020)

Segunda edición: marzo 2020

Autoría: Eduard J. Álvarez-Palau, Manuel Herce, Mireia Hernández

Licencia CC BY-NC-ND de esta edición, FUOC, 2020

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Realización editorial: FUOC



Los textos e imágenes publicados en esta obra están sujetos –excepto que se indique lo contrario– a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 España de Creative Commons. Podéis copiarlos, distribuirlos y transmitirlos públicamente siempre que citéis el autor y la fuente (FUOC. Fundació para la Universitat Oberta de Catalunya), no hagáis de ellos un uso comercial y ni obra derivada. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Impactos de las infraestructuras sobre el territorio.....</b>	<b>7</b>
1.1. Impactos ambientales de las obras públicas .....	8
1.2. Impactos ambientales durante la fase de explotación o uso .....	11
1.3. Impactos ambientales relacionados con la gestión urbana y territorial .....	12
<b>2. Hacia una nueva urbanidad: Infraestructuras, sostenibilidad y tecnología.....</b>	<b>14</b>
2.1. Principios de Sostenibilidad Urbana .....	16
<b>3. Innovaciones tecnológicas y requerimientos infraestructurales asociados.....</b>	<b>19</b>
3.1. Soluciones que inciden sobre el consumo energético .....	19
3.2. Soluciones alternativas de climatización .....	25
3.3. Soluciones que inciden sobre el consumo de agua .....	28
3.4. Soluciones que inciden sobre la contaminación atmosférica .....	32
3.5. Soluciones que inciden en la gestión de la ciudad .....	41
3.6. Soluciones que inciden sobre las urbanizaciones informales y de baja renda .....	51
<b>4. Desafíos a la penetración y oportunidades de cambio.....</b>	<b>66</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>71</b>



## Introducción

La irrupción de las redes de infraestructuras en el territorio ha generado grandes impactos que, durante décadas, han permanecido sin evaluar, creando tensiones sobre el paisaje y la población abastecida.

Del entendimiento de las redes como parte de un conjunto global donde cabe preservar su equilibrio, nace la necesidad de evaluar, planificar y mitigar los posibles impactos que las nuevas infraestructuras puedan causar. En este módulo veremos cómo se clasifican esos impactos y qué herramientas existen para preverlos durante la fase de proyecto.

De acuerdo con esa nueva visión en que la preservación del medio se erige como punto clave en la implantación de cualquier nueva infraestructura, se mostrarán algunos de los avances tecnológicos más recientes en materia de redes. La limitación de los recursos existentes y la posibilidad de reducir los consumos serán los pilares fundamentales de un progreso tecnológico que empieza a despuntar en la gestión de las ciudades.

Entender cómo debe llevarse a cabo la aplicación de nuevas redes o de mejoras tecnológicas nos ocupará la parte final del módulo, donde se confrontarán los factores económicos con una visión más social del modelo actual de infraestructuras.



## 1. Impactos de las infraestructuras sobre el territorio

Las intervenciones infraestructurales tienen un fuerte componente transformador del territorio. Un buen análisis de las alternativas y un diseño mimético de la solución elegida son fundamentales si se quiere maximizar los beneficios minimizando los posibles impactos. Sin embargo, es obvio que esta no ha sido la tónica predominante en los países iberoamericanos en los últimos años.

En una etapa muy marcada por el desarrollismo sin fronteras, proyectistas y constructores han gozado de total impunidad a la hora de plantear las nuevas infraestructuras territoriales. Con el argumento de que las infraestructuras eran necesarias para garantizar el progreso social y económico, se ha menospreciado la dimensión ambiental del problema. Autopistas, líneas ferroviarias, embalses, grandes vertederos, líneas eléctricas, etc. son solo algunos ejemplos de actuaciones que se han proyectado sin atender a sus impactos sobre el territorio.

Sería sencillo argumentar que se desconocía la magnitud de los impactos. No obstante, determinados colectivos de biólogos, ecólogos y paisajistas lo han venido advirtiendo desde hace décadas. Solamente en los últimos años se les está otorgando el papel que les corresponde y no solo por la necesidad de realizar un estudio de impacto ambiental con medidas correctoras, sino porque las consecuencias de las intervenciones son tan evidentes que desconciertan a buena parte de la ciudadanía. En una época en que las TIC garantizan la inmediatez en las comunicaciones y el acceso a la información, ya no es posible argumentar que se desconocían los posibles efectos adversos de una intervención. La historia pone de manifiesto las advertencias previas y las consecuencias de actuaciones similares en otros lugares. Tenemos por tanto nuevos instrumentos para proyectar que debemos utilizar para mejorar los proyectos, y sobre todo, para reducir los impactos negativos y las externalidades causadas.

En este sentido, se puede otorgar a las infraestructuras diferentes tipos de impacto sobre el territorio. Sería insensato empezar la caracterización sin atender primero a los impactos positivos. Las infraestructuras han facilitado el intercambio de bienes y servicios, así como la movilidad de las personas por todo el planeta de una forma inusitada. Se ha reducido el tiempo de trayecto y, por ende, los costes asociados. De este modo, se ha alcanzado una nueva dimensión en el comercio internacional, comúnmente llamada *globalización*. A escala local, se ha facilitado los desplazamientos ocupacionales, pero también los personales, de forma que las personas pierden cada día menos tiempo en transporte y lo dedican a otras tareas. Además, pueden elegir libremente entre diferentes modos de transporte. Al mismo tiempo, se han rebajado los costes asociados, con el consiguiente ahorro, o permitiendo elegir el lugar de residencia atendiendo a otros criterios discrecionales. También se ha incrementado la

seguridad, tanto por la mejora de las infraestructuras como por la evolución de los modos de transporte. Y podríamos continuar con un largo etcétera. Por lo que respecta a las infraestructuras urbanas, cada día disponemos de mayores comodidades que nos facilitan una vida más confortable. Disponemos de agua potable canalizada hasta nuestros hogares durante todo el año, tenemos servicio de alcantarillado de forma generalizada, la electricidad nos permite iluminar nuestros domicilios y lugares de trabajo durante todo el día, así como mantener alimentos en buen estado y utilizar diferentes electrodomésticos para las tareas cotidianas. Tampoco debemos olvidar el servicio de recogida de basuras, el teléfono, las nuevas tecnologías de la comunicación y la información, etc. Aunque esta lectura pueda parecer descontextualizada, cabe recordar al lector que no todos los países disponen de estos servicios. De hecho, ni tan siquiera todos los países de la Unión Europea pueden garantizar buenos niveles de urbanización en todos y cada uno de los servicios urbanos. Y para disponer de estas comodidades es necesario que existan infraestructuras territoriales tan extensas como la propia huella ecológica de las ciudades determina.

Sin embargo, lo que está en debate no son las contribuciones de las infraestructuras al desarrollo, sino sus impactos sobre el medio ambiente y la sostenibilidad en los territorios por donde transitan. Los impactos negativos de las infraestructuras son varios y se pueden agrupar según el momento en que se producen, ya sea durante el proceso constructivo (que concierne también al diseño, fase de proyecto y elección de los materiales que se utilizarán en las obras) o durante su utilización (contaminación ambiental, accidentes, contaminación acústica, etc.). Así, también debe tenerse en cuenta el impacto sobre las actividades que la infraestructura imposibilita por su presencia (efecto barrera, corte de cuencas de captación hídrica, dificultad al paso de fauna, etc.), sin olvidar las contribuciones aportadas al modelo urbano y territorial vigente caracterizado por la falta de sostenibilidad global. En definitiva, existe una larga lista de disfunciones a las que se debe poder responder con los instrumentos adecuados. Una mayor concienciación global, y de los técnicos en particular, puede ser garantía de un mejor modo de proceder en un futuro no muy lejano.

A continuación se recogen los impactos negativos más significativos que se han venido caracterizando durante las últimas décadas.

### **1.1. Impactos ambientales de las obras públicas**

Según Corominas (1998, pág. 177) para analizar los «posibles impactos asociados a una determinada obra pública, no es suficiente la realización de una simple análisis cualitativa. Se requiere del establecimiento de un sistema de cuantificación de los impactos para poder tomar decisiones sobre la posibilidad de asumirlos y/o la necesidad de establecer medidas correctoras».

Desarrollando este concepto, determina un conjunto de impactos de las obras infraestructurales sobre el territorio.

#### **Referencia bibliográfica**

Corominas, J. et al. (1998). «Impacte ambiental de les obres públiques». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 177-185).



### **1) Impacto sobre fauna y flora**

Conjunto de perturbaciones producidas que pueden afectar a la estructura de las comunidades naturales por una reducción de la biodiversidad, una alteración de los hábitats o un aislamiento de determinadas poblaciones. Es decir, causadas principalmente por la ocupación de espacio, el efecto barrera, el ruido u otros efectos inducidos; que pueden comportar cambios de hábitos en especies animales y/o vegetales.

### **2) Impacto visual y paisajístico**

Cambios en el paisaje que puedan resultar desagradables u ofensivos a la vista de un observador externo. El simple hecho de transformar el medio por la construcción infraestructural en sí misma ya representa un cambio importante. No obstante, la elección del trazado, la cota de rasante en relación con el terreno circundante, el tratamiento de las especies arbóreas del entorno o los acabados de las obras (texturas, colores, materiales, etc.) son solo algunos de los elementos a considerar en pro de una mejor integración.

### **3) Impacto sobre la estabilidad del terreno**

Las infraestructuras lineales (carreteras, ferrocarriles, canales, etc.) consumen gran cantidad de espacio y requieren de la realización de grandes movimientos de tierra. Al realizar estos movimientos se incide directamente sobre dos aspectos: erosión del suelo y estabilidad de taludes. La excavación de los terrenos implica la pérdida de la cobertura edáfica de forma irreversible, además de dejar el terreno sujeto a las inclemencias climáticas. Mientras no se consiga una repoblación de los terrenos excavados, estos se hallan expuestos a riesgos por erosión por causa de la circulación de agua, viento u otras adversidades. Lo mismo ocurre en relación a la estabilidad de taludes. Si el ángulo de corte no es adecuado o no se aplican las medidas estructurales correctoras, puede existir riesgo de rotura o deslizamiento.

### **4) Impacto sobre la red hídrica superficial y subterránea**

Infraestructuras lineales y embalses suponen barreras al funcionamiento natural de los cursos hídricos, puesto que dificultan la correcta esorrentía de las aguas de lluvia y la circulación en los cauces naturales del sistema hídrico y fluvial: se impermeabiliza parte de la superficie reduciendo las infiltraciones; se incrementa la cantidad de sedimentos transportados por un incremento de las erosiones; se alteran los caudales transportados; se reduce la capacidad de transporte en el momento de cruzar transversalmente las infraestructuras; se establecen barreras al desplazamiento de determinadas especies animales; se reduce la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, etc.

### **5) Impacto acústico**

Las obras tienden a requerir del uso de maquinaria pesada, que por sí misma ocasiona un ruido superior al momento de su entrada en funcionamiento. Si se aplica de forma descontrolada y sin atender a condicionantes específicos del entorno, se puede causar daños irreversibles sobre la fauna, como por ejemplo evitar la nidificación de especies avícolas o alterar sus dinámicas migratorias.

## 6) Impactos sociales

Desde un punto de vista social, las infraestructuras tienden a causar efectos sociales positivos (reequilibrio territorial, inducción de actividades o reequilibrio demográfico) y negativos. En este sentido, destacan las expropiaciones de terrenos, las molestias originadas por las obras, el efecto barrera, la parcelación de fincas o parcelas. Todo ello debe ser analizado cuidadosamente cuando se trabaje cerca de núcleos poblados.

## 7) Impacto de los materiales utilizados y los residuos generados

Cusidó (1998, pág. 145) indica que las obras son grandes consumidoras de materiales de construcción, de modo que se tiende a utilizar aquellos materiales que cumplan su función y repercutan el mínimo coste posible. En consecuencia, o bien se trabaja con materias primas abundantes en el entorno o bien se utilizan materiales cuyo proceso de transformación sea lo menos costoso posible. Esta reducción de los costes al mínimo en el proceso de transformación, evidentemente, no siempre es inocua para el medio ambiente. En la tabla 1 se muestra una comparativa de los impactos causados por diferentes materiales.

### Referència bibliogràfica

Cusidó, J., Mañà, F. y Vázquez (1998). «Construcció i mediambient». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 141-152.).

Tabla 1. Impacto ambiental de diferentes materiales utilizados en construcción

Materiales / Efectos	Efecto invernal	Acidificación atmosférica	Contaminación atmosférica	Reducción de la capa de ozono	Emisiones de metales	Energía	Residuos sólidos
Hormigón	C	C	C	C	C	C	C
Cerámica	C	C	C	C	C	C	C
Piedra	C	C	C	C	C	C	C
Acero	B	B	A	C	B	B	A
Aluminio	A	A	B	C	A	A	A
PVC	B	B	A	C	B	B	B
Poliéstero	B	A	A	B	A	A	B
Madera pino	C	C	C	C	C	C	A

Fuente: SIMAPRO3 (Goedkoop, 1995).

## 1.2. Impactos ambientales durante la fase de explotación o uso

Una vez finalizadas las obras, los impactos causados por las infraestructuras tienden a decrecer considerablemente. No obstante, esto no significa que el uso cotidiano de las mismas no deba valorarse. A continuación, se describen los principales impactos causados por el modelo de desarrollo elegido o por los sistemas tecnológicos que implica su explotación.

### 1) Impacto por consumo energético

La generación y utilización de cualquier tipo de energía implica un efecto sobre el medio ambiente en todas las fases de su ciclo: generación, transporte, transformación y consumo (Martínez, 1998, pág. 102).

Dependiendo de la actividad y el tipo de energía consumido el impacto puede ser mayor o menor. De hecho, se categoriza en *impactos globales* cuando su efecto se extiende a grandes distancias desde el foco emisor y en *impactos locales* si los efectos se limitan a la zona próxima a las instalaciones.

### 2) Impacto sobre el medio atmosférico

Carreras (1998, pág. 213) distingue entre contaminantes primarios y secundarios. Los primarios son las sustancias que se vierten directamente a la atmósfera desde diferentes fuentes; pueden ser aerosoles de partículas sólidas, líquidas o gaseosas (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, etc.), metales (Pb, Cr, Cu, etc.), compuestos halogenados (Cl<sub>2</sub>, HCl, HF, etc.) u otros. Los secundarios se producen como consecuencia de las reacciones químicas entre contaminantes primarios.

Estos contaminantes están directamente asociados a todos y cada uno de los procesos urbanos donde interviene la combustión, u otros procesos similares. Los transportes y la industria suelen ser los principales agentes contaminantes.

Por otro lado, cabe tener en consideración que los factores topográficos y meteorológicos juegan un papel clave en la dispersión atmosférica. El viento, la radiación solar, la estabilidad atmosférica o el emplazamiento de los asentamientos son factores clave.

### 3) Impacto acústico por uso

Corominas (1998) cifra en 70-85 dB el ruido producido por el tránsito rodado, dependiendo del tipo de vehículo y el pavimento por el que transita. En este sentido, la OCDE recomienda para las zonas urbanas un nivel de intensidad de sonido inferior a los 55dB. Por tanto, una planificación urbanística errónea o un mal aislamiento de los edificios pueden comportar la superación de este umbral.

#### Referencia bibliográfica

Martínez, L., Montserrat, J. y Puigjaner, Ll. (1998). «Energía i mediambient». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 101-126).

#### Referencia bibliográfica

Carreras, R., Cremades, L. y Virto, L. (1998). «L'impacte ambiental dels processos de combustió». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 209-218).

#### Referència bibliogràfica

Corominas, J. et al. (1998). «Impacte ambiental de les obres públiques». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 177-185).

#### 4) Impacto por riesgos asociados

El tipo de materiales utilizados y su forma de manipulación o transporte presentan diferentes riesgos asociados. Los oleoductos y gasoductos, el transporte de mercancías peligrosas o ciertas industrias químicas pueden implicar diversos riesgos para la salud tanto de las personas que los manipulan como de las que se encuentran dentro del área de servidumbre de dichas actividades.

#### 5) Impacto sobre el espectro radioeléctrico

La transmisión de información mediante el uso de ondas electromagnéticas podría ocasionar determinados efectos biológicos sobre las personas (hipertermia, quemaduras, cataratas, etc.). Sin embargo, todavía no existen suficientes evidencias científicas que demuestren que las ondas de radiofrecuencia o microondas puedan alterar las estructuras moleculares incluso con exposiciones prolongadas (Berenguer, 1998, pág. 277).

### 1.3. Impactos ambientales relacionados con la gestión urbana y territorial

Atendiendo tanto a los impactos generados durante la construcción como a aquellos vinculados al funcionamiento habitual de las infraestructuras, es evidente que la ciudad y el territorio están en continua interacción con el medio, lo que acaba provocando también ciertos impactos (Barba 1998).

#### 1) Impactos en la ciudad

Las principales interacciones de la ciudad con el medio ambiente se centran en cuatro categorías principales. En primer lugar, por la alteración del subsuelo y sus componentes superficiales en relación con el tipo de pavimentación resultante. En segundo lugar, por la alteración del ciclo del agua, bien sea por alteración de la red de infiltración y drenaje como por la alteración del cauce natural de ríos y costas. Cuanto mayor sea la impermeabilización de la superficie menor agua infiltrada habrá y, en consecuencia, mayores serán los requerimientos infraestructurales para su evacuación por otros canales. En tercer lugar, por la cantidad y el tipo de consumo energético o de recursos necesario para explotar los espacios públicos cotidianos (alumbrado, riego, limpieza vial, etc.). Y finalmente, por las consecuencias que las grandes infraestructuras tienen sobre la ciudad (electricidad, gas, transporte, etc.). Cuanto mayores sean los requerimientos, mayor dimensionado deberá darse a las diferentes redes de abastecimiento.

#### 2) Impactos en el territorio

La relación entre campo y ciudad siempre ha sido una frontera de difícil definición. En la sociedad actual, ambos se entrelazan en periferias suburbanizadas que se alternan con campos de cultivo infrautilizados e industrias de todo

#### Referencia bibliográfica

Berenguer, J. y Sánchez, M. (1998). «Les tecnologies de la informació y el mediamient». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediamient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 273-284).

#### Referencia bibliográfica

Barba, R. y Herce, M. (1998). «Mediamient, urbanisme, ordenació del territori i paisatge». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediamient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 165-176).

tipo. Por si fuera poco, las infraestructuras de transporte, energía y agua se entrelazan y fragmentan todavía más la maltrecha periferia. Este conjunto de actividades sin regulación ni criterio previo acentúa el proceso de degradación ecológica de nuestro territorio a la vez que desnaturaliza el paisaje y nos obliga a replantear el sistema de gestión ambiental que debemos implantar.

A modo de resumen, es conveniente recordar que las diferentes infraestructuras de transporte o de servicios urbanos no son más que una variable del complejo entramado que forman la ciudad y el territorio. Si no se entiende esta correlación, pueden generarse situaciones tan absurdas como la proyección de infraestructuras que crean más impactos negativos que positivos o, peor aún, la necesidad de implementar medidas correctoras cuyo coste sea superior al coste de la propia intervención. La mejor solución técnica a un problema no siempre, de hecho rara vez, es la mejor por lo que respecta a la sostenibilidad y el medio ambiente. Por ello, es necesario empezar a replantearse la composición de los equipos de trabajo especializados mediante la incorporación de profesionales de otras disciplinas que puedan advertir de las consecuencias de las intervenciones durante el proceso de redacción. De este modo, se optimizaría el trabajo y no se preciaría de los estudios de impacto ambiental ni de la definición de medidas correctoras que, si bien mejoran el proyecto final, siempre acaban significando un parche puntual a una solución mal concebida.

## 2. Hacia una nueva urbanidad: Infraestructuras, sostenibilidad y tecnología

En definitiva, este cambio estructural propuesto a la hora de abordar la relación entre infraestructuras y medioambiente debe basar el proyecto infraestructural en unas premisas básicas que consideren la técnica pero también el entorno en el que se inserta la intervención. Todos los medios disponibles (tecnología, conocimiento y políticas públicas) deberían alinearse en este sentido para garantizar un desarrollo sostenible real. El diseño integral, la consideración del ciclo de vida de los recursos, el uso de fuentes renovables y la implementación de nuevas tecnologías que permitan una mayor eficiencia infraestructural pueden convertirse en factores clave a corto o medio plazo.

En el apartado anterior se ha mostrado hasta qué punto es recomendable proyectar de forma integral. Ahora, simplemente cabe subrayar la necesidad de impulsar un cambio estructural en la forma de elegir los proyectos que deberán desarrollarse, en diseñar las soluciones adecuadas, en valorar estas soluciones desde diferentes puntos de vista para poder ajustar el proyecto y, finalmente, en construirlo garantizando el máximo cumplimiento de los requisitos preestablecidos.

El **ciclo de vida** de los recursos plantea analizar cada uno de los materiales, así como las fuentes de energía usadas desde una óptica de conjunto. La tecnología para garantizar la incorporación de materiales de origen reciclado en el proceso de construcción infraestructural está cada día más avanzada. Sin embargo, es evidente que, en un mundo globalizado, los costes de los productos reciclados pueden ser mayores que los de importación de nuevos materiales. En este sentido, convendría que el uso de materiales de construcción de nuevo uso fuese gravado según sus posibilidades de reutilización posterior, o como mínimo, por el coste que supondrá su reciclaje futuro. En definitiva, la aplicación de políticas públicas de sostenibilidad ambiental. Un razonamiento parecido podría seguirse para analizar el ciclo de vida del agua, la biomasa, o los residuos sólidos urbanos.

Al mismo tiempo, cada día se hace más necesario empezar a plantearse los nuevos desarrollos de forma autosuficiente energéticamente. La tecnología está avanzando a pasos agigantados y ni tan siquiera el precio de implantación desaconseja ya su aplicación. Vehículos propulsados con energías alternativas, edificios autosuficientes, redes urbanas de distribución de frío y calor generado en plantas de tratamiento de residuos, etc. son solo algunas de las aplicaciones de las energías verdes a la ciudad y a sus infraestructuras.

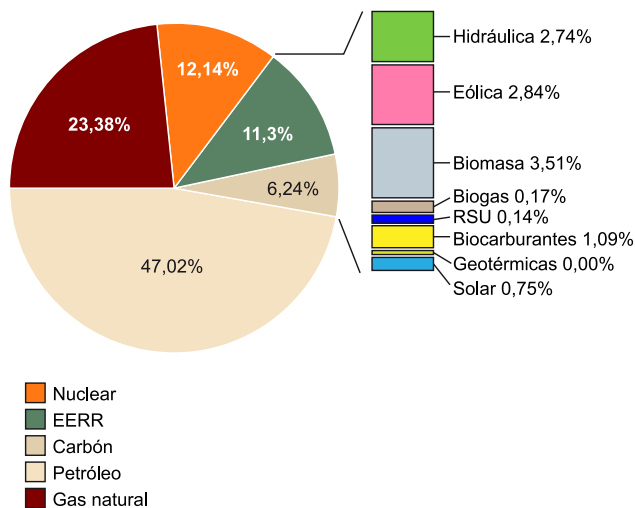
En este sentido, como se ya ha dicho reiteradas veces, es necesario replantearse el modelo territorial actual empezando a analizar sus disfunciones y buscando el modo de retomar la autosuficiencia como forma de desarrollo. El uso de fuentes energéticas renovables, el consumo de proximidad, las actuaciones de restauración ambiental y paisajística después de las intervenciones infraestructurales, la contención de la dispersión urbana o la protección de las especies de flora y fauna amenazadas por nuestro modelo de vida, son solo algunas de las políticas necesarias a corto y medio plazo si no queremos desbordar el sistema.

Retomando lo hablado en la asignatura anterior, desde un punto de vista energético, por ejemplo, se hace imprescindible analizar el modelo actual de consumo para hacerse una idea del estado en el que nos encontramos. Según datos del IDAE (2011), en 2010 casi el 90% del consumo energético bruto en España provenía de fuentes no renovables. El petróleo (47,02%) es, sin lugar a dudas, la fuente energética más utilizada y gran parte de esa energía se destina al transporte. El gas natural (23,38%) es la segunda fuente, aunque en este caso prima la producción de energía eléctrica y el consumo doméstico para calefacción y agua potable. Le siguen la energía nuclear (12,14%), utilizada para producción de electricidad; el carbón (6,24%), que sigue manteniendo una cuota significativa pese a su evidente impacto sobre medio y, finalmente, las energías consideradas como renovables (11,3% en total): biomasa, eólica, hidráulica, biocarburantes, solar, biogás, RSU o geotérmica.

**Referencia bibliográfica**

IDAE (2011). *Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Figura 1. Consumo de energía primaria en España en 2010



Fuente: IDAE (2011).

Conviene preguntarse cuál debería ser el papel de las infraestructuras de servicios urbanos en relación a las energías renovables. Transporte, consumo eléctrico y sistemas de climatización son las actividades con mayor volumen de recursos asignados, por lo que deberían centrar el conjunto de actuaciones en

**Ved también**

Ver materiales didácticos de la asignatura *Transporte y Movilidad Sostenible*.

un futuro próximo. Estos servicios, y sus infraestructuras asociadas, tienen hoy en día una excesiva dependencia de los combustibles fósiles y, básicamente, de los derivados del petróleo.

Es ampliamente reconocido el hecho que este tipo de combustibles tiene fuertes repercusiones sobre la contaminación urbana, la salud de las personas e, incluso, sobre el calentamiento global del planeta. Además, la falta de recursos propios obliga al Estado a importar continuamente derivados del petróleo y gas para poder operar, cosa que incrementa la dependencia energética y expone a los consumidores a las fluctuaciones del mercado.

Con todo, no son pocas las iniciativas que intentan frenar esta tendencia introduciendo combustibles alternativos, promoviendo modos de movilidad más sostenibles o desarrollando nuevos sistemas de generación energética aplicados. Cada una de estas líneas de investigación requiere del desarrollo de nuevas tecnologías para la explotación y posterior gestión de los sistemas; pero además de ello debe pensarse en el modo de adecuación urbanística e infraestructural para que puedan implementarse.

## **2.1. Principios de Sostenibilidad Urbana**

Como vimos en el módulo anterior, uno de los principales problemas que se dan en la fase de proyecto es la falta de directrices multidisciplinares, lo que conduce a soluciones con impactos distintos en cada ámbito (ambiental, paisajístico, viario, social, etc.). Eso podría resolverse estableciendo unos principios macro que fueran comunes a cualquier proyecto de intervención urbana, y que permitieran garantizar y/o evaluar la sostenibilidad del mismo. Esos principios deberían adaptarse a cada región dependiendo de las características del territorio de implantación, pero a continuación se citan algunos ejemplos.

### **1) Principio de sostenibilidad**

El medio ambiente se reconoce como un bien común de todos los ciudadanos y, consecuentemente, el interés colectivo prevalece por encima del individual.

### **2) Principio de información**

Todos los ciudadanos tienen el deber y el derecho de informar, así como de tener información sobre las cuestiones ambientales del proyecto.

### **3) Principio de realidad**

Cualquier acción ambiental considerada en el proyecto solo será efectiva si está basada en suposiciones objetivas, y solo será posible si el proyecto incorpora los recursos y los medios necesarios para llevarla a cabo.



#### **4) Principio de vecindad**

Todos los ciudadanos forman parte de un sistema ambiental urbano único y, por tanto, todos deben participar y contribuir en las medidas ambientales contempladas en el proyecto que beneficien al conjunto de la sociedad.

#### **5) Principio de igualdad**

Todos los ciudadanos tienen derecho a disfrutar de un ambiente digno y el deber de preservarlo, siempre en igualdad de condiciones.

#### **6) Principio de responsabilidades compartidas**

Ciudadanos y autoridades públicas tienen el deber y el derecho de asumir el papel de actores para proteger y mejorar el medio ambiente para las generaciones presentes y futuras.

#### **7) Principio de consumo**

La tasa de consumo de materia renovable, agua y recursos energéticos, así como de recursos no renovables, no puede exceder la capacidad de reposición de los mismos.

#### **8) Principio de contaminación**

La tasa de las emisiones contaminantes emitidas no puede exceder la capacidad de absorción y procesamiento del aire, del agua y el suelo.

A partir de los principios establecidos deberían definirse unas directrices concretas para cada proyecto que sirvieran de base para la definición del mismo y que ayudaran a reducir los impactos futuros.

Para que esas directrices sean efectivas, deben agruparse por áreas de actuación del proyecto (movilidad, residuos urbanos, planeamiento, paisajismo, red viaria, servicios urbanos, etc.) y limitarse en número, puesto que la definición de un número excesivo de las mismas dificultará el proceso de diseño y la posterior evaluación. Debe tenerse en cuenta que el objetivo es mejorar el proceso de planeamiento de las infraestructuras y reducir los posibles impactos que se puedan generar.

Existen infinitas posibilidades de directrices a ser definidas, pero sirvan como ejemplo las siguientes:

- Integrar el paisaje existente durante el proceso de planeamiento para preservar sus cualidades como un valor social y como un bien económico del territorio.

- Establecer un modelo de ocupación del suelo que minimice el consumo del mismo y que racionalice su uso con el fin de promover la diversidad del territorio y mantener la referencia de su matriz biofísica.
- Diseñar una red viaria que garantice la prioridad del peatón y de los medios de transporte colectivos en todos los puntos, y que controle la velocidad del tránsito privado en beneficio de los modos de transporte más sostenibles.
- Utilizar preferentemente materiales reciclados o renovables de origen local con el objetivo de reducir las emisiones durante el proceso de transformación e implantación del proyecto, reduciendo el impacto de construcción en el ciclo de los materiales y del medio ambiente en general.

Sin duda, un proceso que integre desde la fase inicial una serie de principios y directrices de proyecto, revertirá de forma favorable sobre la sostenibilidad de la actuación, además de permitir el control ambiental de la misma.

### **3. Innovaciones tecnológicas y requerimientos infraestructurales asociados**

El crecimiento de las ciudades ha llegado a un punto donde ya no es posible dar marcha atrás en materia de sostenibilidad. Todos los estamentos implicados apuestan por un futuro cada vez menos contaminado y más integrado en el entorno. Pero ¿qué actuaciones pueden atender a una ciudad que ya está consolidada y que camina con soluciones que fueron formuladas en épocas anteriores?

En primer lugar, hay que entender la ciudad de una forma distinta. Hasta ahora basábamos nuestro proyecto en el nivel superficial y el nivel subterráneo, pero la irrupción de nuevas tecnologías obliga a entender la ciudad como una pieza integrada por varias capas. El subsuelo pasó de ser el soporte de las redes de servicios a servir además para generar energía, por ejemplo. La superficie ya no se limita al nivel del suelo, puesto que aparecen redes wi-fi que hacen necesario incluir el nivel aéreo. Por tanto, es necesario asemejar la ciudad a un elemento de distintas capas, cada una con diferentes necesidades y actores, pero todas relacionadas entre sí.

Aparece, pues, un nuevo paradigma de gestión de la ciudad, además de un nuevo protagonismo de las redes de infraestructuras, cuyos requerimientos de servicio abrirán nuevas puertas a las posibilidades de consumo.

Se trata de pensar en soluciones que mejoren la eficacia de las redes pre-existentes y que, en la medida de lo posible, las transformen en beneficio de nuevas necesidades.

A continuación se desarrollan algunos ejemplos sobre las apuestas más avanzadas en materia de infraestructuras urbanas, donde se visualiza el binomio innovación tecnológica y adaptación infraestructural.

#### **3.1. Soluciones que inciden sobre el consumo energético**

Durante mucho tiempo las ciudades fueron entendidas como piezas de consumo de energía. Sin embargo, en la actualidad el desafío pasa por entender las grandes urbes como piezas de producción de energía. Tal y como se ha explicado en la asignatura de “Medio ambiente y sostenibilidad urbana”, la apuesta debe ser, pues, definir sistemas energéticos descentralizados, seguros y eficientes, no contaminantes y basados en las energías renovables, que aproximen la generación de energía al lugar de consumo, llegando así a la máxima auto-suficiencia y a la mínima vulnerabilidad e impacto ambiental en las áreas urbanas, donde el barrio debe ser la escala de trabajo del nuevo sistema energético.

## 1) Autogeneración energética para elementos de alumbrado público, señales informativas y otros dispositivos urbanos

Con el surgimiento de las TIC y su aplicación a las ciudades, cada día es mayor el número de sistemas de gestión y sus elementos asociados. Estos elementos suelen tener un funcionamiento relativamente sencillo, de modo que tienden a consumos energéticos muy bajos. Históricamente se han venido conectando a la red urbana de distribución eléctrica pero con las mejoras en la eficiencia y la aparición de sistemas de autogeneración, esta situación está empezando a revertirse.

El alumbrado público es un ejemplo claro. La aparición de sistemas LED ha reducido la potencia consumida a la mitad y el coste por consumo en una proporción de 5 a 1 para niveles lumínicos similares (Gualda, 2012). Por tanto, los requerimientos energéticos son muy inferiores respecto a las tecnologías anteriores. A su vez, se desarrollan placas solares conectadas a baterías para poder captar energía de día y alumbrar de noche. La recarga completa de los puntos de luz se realiza a través del panel solar y suele tener una duración de 4 a 4,5h en días soleados.

Figura 2. Ejemplos de iluminación con los puntos de luz LED-solar en diferentes espacios urbanos



Fuente: Catálogo Fh solar & led s.a.s.

La energía solar también se está utilizando para el funcionamiento autónomo de otros elementos urbanos, como paneles informativos del estado del tránsito, radares, máquinas expendedoras de tickets, marquesinas de autobús o semáforos. Aunque se considera todavía una tecnología nueva y su expansión depende en parte de la inversión necesaria para su implantación, son muchas las ciudades que están apostando por este sistema.

Su proliferación permitiría a las administraciones públicas reducir considerablemente el consumo energético. Además, no sería necesario extender redes de transporte eléctrico, ni construir estaciones transformadoras, ni siquiera líneas de distribución eléctrica. En el momento en que los diferentes elementos del mobiliario urbano toman autonomía, el coste de urbanización se abarata de forma exponencial, sobre todo en sectores residenciales de baja densidad.

### Referencia bibliográfica

Gualda, J. A. y Tolosa, J. A. (2012). «Alumbrado público: ¿VSAP o LED?». *Equipamiento y servicios municipales* (n.º159, págs. 60-72).



Figura 3. Ejemplo de estación de carga de vehículos alimentada mediante paneles solares

Fuente: Duran (2010).

## 2) Sistemas de iluminación variable

La tecnología LED avanza sin cesar en el campo del alumbrado público y algunas ciudades ya están apostando por un segundo nivel de esta tecnología: la iluminación variable. Se trata de implementar un sistema de alumbrado que adapta los niveles de intensidad en función de la presencia o no de personas en el área que se está iluminando. Unos sensores ópticos detectan el movimiento en tiempo real y las luminarias reducen su potencia cuando no perciben movimiento alguno, sin llegar a apagarse del todo. Este sistema permite reducir el coste de luz sin mermar la seguridad de los ciudadanos, además de reducir la contaminación lumínica. En España existen algunas experiencias de esta nueva tecnología en ciudades como Barcelona, Vitoria o Móstoles.

## 3) Cementos fluorescentes

La innovación en el campo de la iluminación pública no se limita únicamente a la mejora tecnológica de los sistemas convencionales, sino también a la aparición de nuevas soluciones que complementen la iluminación tradicional.

Uno de los productos más recientes en esta área, y aún en fase muy preliminar en el mercado, son los cementos fluorescentes. Se trata de pavimentos de cemento que funcionan a modo de bombilla: a lo largo del día absorben la luz solar y por la noche la irradian.

Esta solución, creada por el investigador José Carlos Rubio de la Universidad de Michoacán de San Nicolás de Hidalgo, permite la difusión de la radiación de luz a través de la sílice presente en el cemento. Para ello, fue necesario modificar la estructura del cemento para permitir tanto el paso de la luz como la absorción de la misma (alteración de las características ópticas). Por esto, se incorporó un nuevo aditivo al cemento capaz de absorber la radiación solar (fórmula patentada – elemento anónimo) y se aumentó la presencia de cristales de sílice, permitiendo así el paso de la luz a través del cemento. El resultado es un cemento de aspecto gelatinoso, cuyas propiedades de fluorescencia dependen de la cantidad de aditivo aplicada a la mezcla.

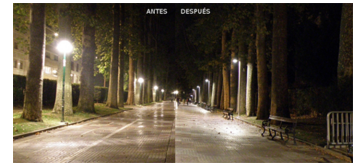


Figura 4. Imagen de una de las calles de Vitoria donde se ha implementado el sistema de regulación de luz por sensores, antes y después de la ejecución del proyecto  
Fuente: [www.esmartcity.es](http://www.esmartcity.es)

Figura 5.



Fuente: José Carlos Rubio de la Universidad de Michoacán de San Nicolás de Hidalgo.

Esa flexibilidad en la intensidad de la fluorescencia permite regular la intensidad de la luz irradiada según su aplicación. Así, puede optarse por concentraciones más elevadas en fachadas o muros y concentraciones menores en carriles bici o calzadas, donde debe evitarse deslumbrar a ciclistas y peatones.

En los materiales fluorescentes conocidos hasta ahora, donde se utiliza el plástico para conseguir dichas características, la durabilidad no suele ser muy alta debido al desgaste producido por los rayos UV. En el caso del cemento fluorescente, se consigue la misma durabilidad que el cemento convencional, haciendo más interesante su aplicabilidad.

A pesar de las ventajas aparentes que presenta este nuevo material, aún quedan algunos puntos por resolver. En primer lugar, la resistencia, pues aún no se han revelado ensayos que demuestren su capacidad de desempeño, y, en segundo lugar, el coste, pues se estima que sea cuatro veces mayor al de un cemento convencional.

Según su creador, este nuevo material fue creado para ser utilizado como capa de recubrimiento de fachadas o pavimentos existentes, marcación de señalización específica, etc., por lo que su aplicabilidad, por ahora, no sustituye el uso de los cementos convencionales.

#### 4) Pavimentos generadores de energía

En los últimos años se están patentando diferentes sistemas de generación de energía a partir de la conversión de energía cinética en energía eléctrica. Mediante la captación de la energía de frenado de los vehículos o la compresión del pavimento por parte de vehículos o peatones (tales serían los casos de Electrokinetic Road Ramp y Pavegen systems, respectivamente), se obtienen pequeñas descargas eléctricas que pueden almacenarse y utilizarse para diferentes aplicaciones. Dependiendo del tipo de sistema y de su ubicación, pueden

#### Electrokinetic Road Ramp

Sistema de rampas desarrollado por el británico Peter Hughes que genera energía al ser comprimido por el paso de vehículos.

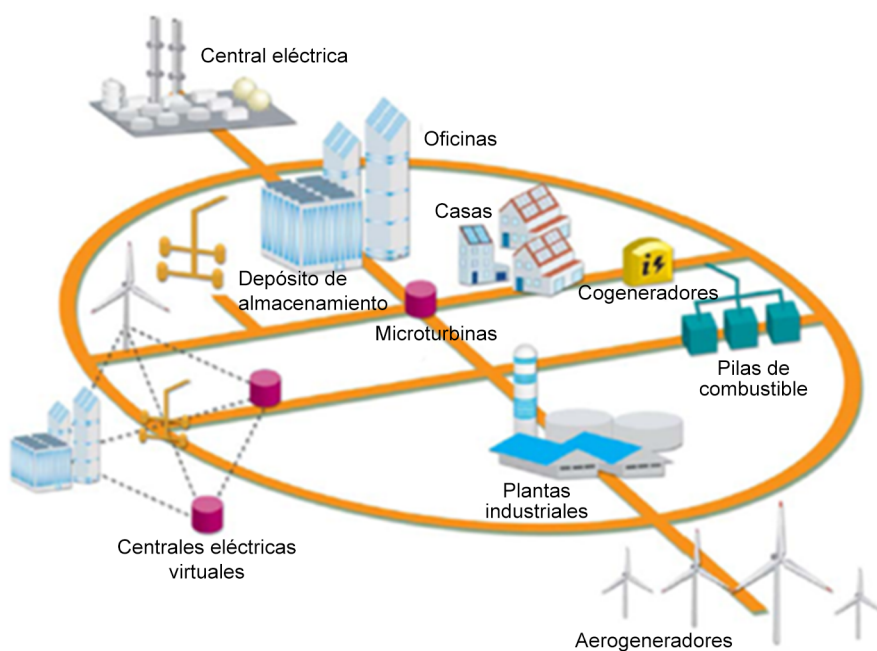
generar mayor o menor potencia, con lo que su aplicación a la ciudad puede ir desde la iluminación de pequeños carteles publicitarios hasta la iluminación de la vía pública u otros servicios urbanos.

Existen también otras formas de generación eléctrica mediante el pavimento. Ingenieros de la Universidad de Cantabria patentaron en 2007 el sistema de captación de energía solar irradiada sobre un pavimento y acumulación de energía en agua de lluvia. Según Cortés (2011, pág. 11) el sistema todavía se encuentra en fase experimental, pero diversas pruebas han demostrado rendimientos de captación superiores al 70% de la energía irradiada sobre la superficie. Por tanto, parece que el aprovechamiento energético de la radiación solar recibida sobre un pavimento asfáltico es factible.

### 5) Smart grid

Con este nombre se conoce a las nuevas redes de distribución que permiten a los usuarios de la red convencional generar energía renovable mediante paneles fotovoltaicos, pequeñas centrales hidroeléctricas, residuos animales, urbanos y forestales, etc., y utilizarla para atender a sus necesidades básicas cuando no están conectadas a la red convencional. Además, estos nuevos productores locales pueden vender la energía que producen a la red principal, obteniendo un flujo bidireccional de energía eléctrica.

Figura 6. Figura esquemática de un sistema de control de distribución de energía formado por diferentes fuentes generadoras de energía



#### Pavegen systems

Sistema de losas desarrollado por el ingeniero Laurence Kemball-Cook en 2009, que está siendo probado en diferentes ciudades (Río de Janeiro, Londres, Melbourne, etc.). Su funcionamiento se basa en la generación eléctrica por compresión del pavimento al caminar por encima.

#### Referencia bibliográfica

Cortés, C. et al. (2011). «Captación de energía solar térmica mediante pavimentos asfálticos». *Asfalto y Pavimentación* (n.º 2, vol.I, págs. 11-18).

## 6) Tecnología de medición inteligente

Para atender a las necesidades de las *smart grids*, existen diferentes sistemas para que los productores locales puedan controlar la producción y el consumo de energía. Por ejemplo, los contadores telemáticos permiten la lectura de consumo en tiempo real y ofrecen la posibilidad de desconectarse de la red principal cuando se considere oportuno.

Asimismo, estos sistemas permiten la acumulación de energía en batería en aquellas franjas horarias en que la energía es más barata y, por tanto, facilitan el uso de sistemas de locomoción eléctricos con el menor coste energético posible.

Por otro lado, existen sensores y chips que pueden ser distribuidos por la red y, mediante un software especializado, conocer la cantidad de energía que la red está utilizando en cualquier momento y en cualquier local. Con esta interconexión pueden redireccionarse los usos y los flujos de energía durante los picos de consumo de energía en baja y en alta tensión, así como para ajustar en tiempo real el precio de la electricidad.

Como experiencia piloto de *smart grid* debemos mencionar el proyecto *Power-Matching City*, una especie de laboratorio sostenible aplicado en la ciudad de Groningen desde 2007 y en el que participan 40 familias de esa ciudad. Para la implantación del proyecto se desarrollaron varias tecnologías de almacenamiento y medición de energía, así como un sistema de monitorización. El proyecto está experimentando cómo las redes inteligentes tienen la capacidad de interconectar diferentes tipos y escalas de flujos de energía, así como de implementar nuevos servicios y tecnologías, con las consiguientes oportunidades para crear nuevos modelos de negocio.

## 7) Instrumentos de control del consumo energético urbano

Howard (2012) desarrolló un modelo en GIS para toda Nueva York con la finalidad de cuantificar la energía consumida por los diferentes usos urbanos. El modelo es un potente instrumento que permite no solo saber qué actividades consumen mayor cantidad de energía, sino además, en qué la consumen. Demuestra, por ejemplo, cómo el consumo de combustibles fósiles es alto a la hora de utilizar la calefacción o calentar agua para uso doméstico. Sin embargo, muestra también que los usos terciarios consumen únicamente energía eléctrica en la mayoría de situaciones.

Este instrumento puede ser especialmente relevante a la hora de hacer políticas relacionadas con el consumo de los diferentes recursos para producir energía. La ubicación de placas solares para el calentamiento de agua permitiría reducir la combustión en los hogares. Sin embargo, las oficinas requerirían

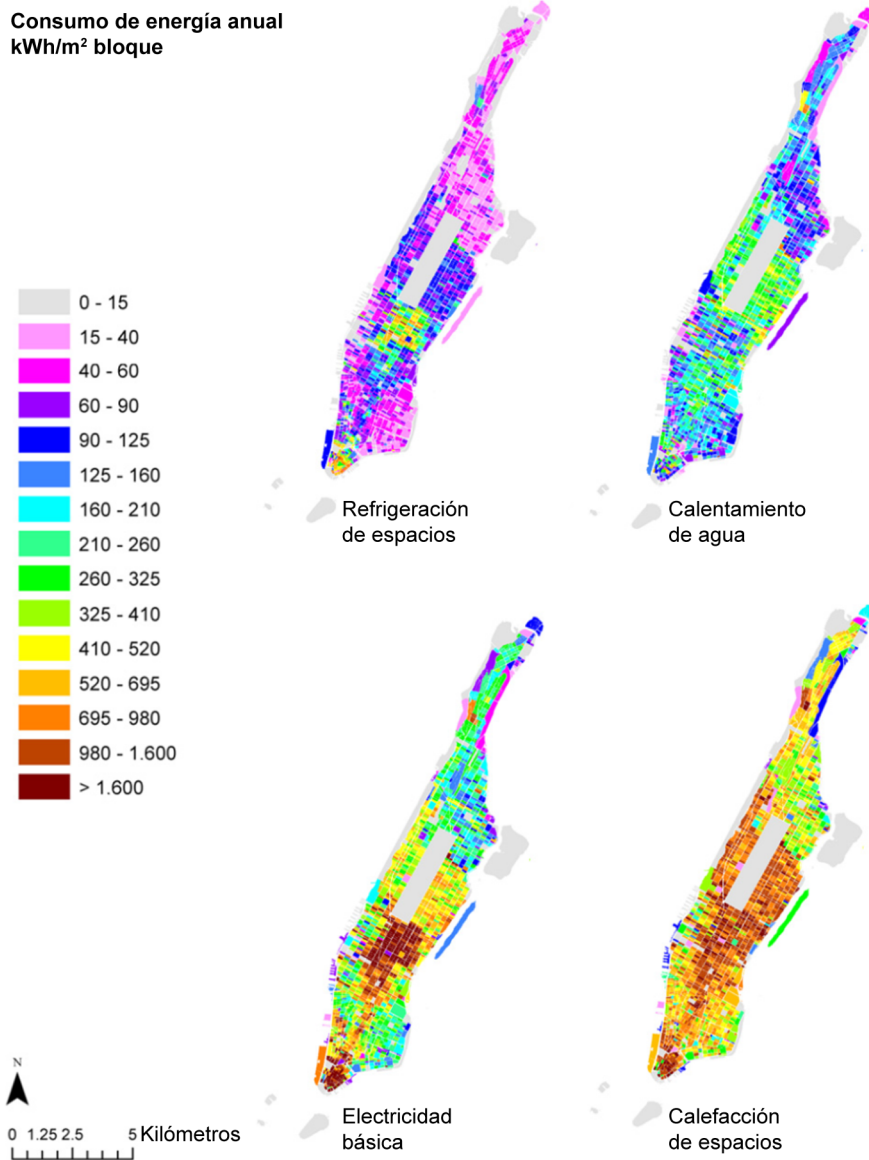
### Referencia bibliográfica

Howard, B. et al. (2012). «Spatial distribution of urban building energy consumption by enduse». *Energy and Buildings* (vol. 45, págs. 141-151).



un cambio de políticas a escala nacional coligado a las grandes producciones eléctricas. Sería por tanto conveniente prever un gran plan energético, como el *Energiewende* alemán, para alterar las tendencias de consumo de recursos.

Figura 7. Consumo anual de energía en Manhattan



Fuente: Howard (2012).

### 3.2. Soluciones alternativas de climatización

Hasta el momento, la climatización de edificios se realizaba mediante sistemas ligados a la red eléctrica convencional, lo que produce elevados consumos de esta energía. Por otro lado, las ciudades generan cantidades enormes de residuos no reciclables que se depositan en el medio y consumen pedazos de territorio que se tornarán inservibles en el caso de que se desee darles un uso productivo o implantar asentamientos urbanos.

En este sentido, existen algunos sistemas de climatización alternativos que reducen el impacto sobre el medio y prescinden de la energía eléctrica.

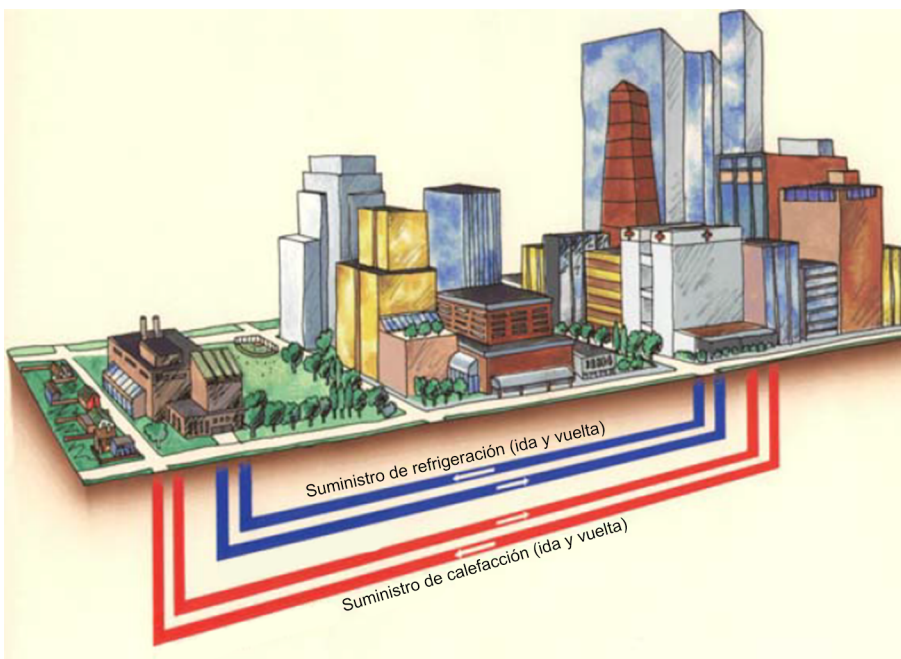
### 1) Redes urbanas de frío y calor centralizadas

Las redes urbanas de frío y calor (DH&DC<sup>1</sup>) ya comentadas en la asignatura de “Medio ambiente y sostenibilidad urbana”, son definidas en la Directiva 2010/31/UE como:

<sup>(1)</sup>DH&DC: acrónimo del término inglés District Heating & District Cooling.

“Sistemas urbanos que permiten la distribución de energía térmica en forma de vapor, agua caliente, o fluidos refrigerantes, desde una fuente central de producción a través de una red hacia múltiples edificios o emplazamientos, para la calefacción o refrigeración de estos espacios.”

Figura 8. Esquema de funcionamiento de una red de DH&DC



Fuente: IDEA (2005).

Así, en el caso de una central térmica ubicada en la ciudad o sus inmediaciones, el sistema se encarga de producir y suministrar calefacción o refrigeración a diferentes usuarios de forma independiente mediante una red de tuberías aisladas térmicamente. Las centrales térmicas producen energía a partir de la quema de residuos, lo que ayuda a reducir también los residuos inorgánicos producidos.

En Estados Unidos la aplicación de este tipo de tecnología es común desde la década de 1960 en un extenso número de ciudades (Los Ángeles, Pittsburgh, San Antonio, Texas, etc.). En Europa, la penetración de este tipo de sistema sobre las ciudades históricas es más complicada, puesto que requiere la realización de grandes zanjas para instalar las tuberías. En cualquier caso, ciudades como Helsinki, Odense, París o Barcelona disponen de sistemas DH&C más o menos extensos.

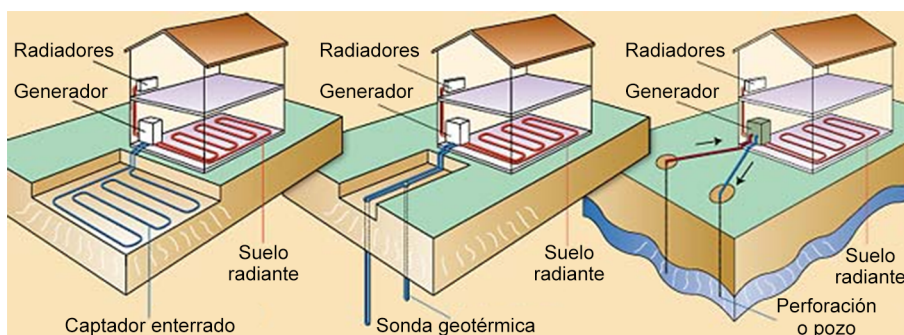
En el caso de Barcelona, por ejemplo, se proyectó una red urbana en el distrito tecnológico del 22@ vinculada a la depuradora y central térmica del Besós. Esta red da servicio actualmente a una cincuentena de edificios con diferentes usos, lo que supone casi 500.000 m<sup>2</sup> servidos. El sistema utilizado produce energía mediante la combustión de RSU que se insufla en forma de vapor sobre la red. El sistema de refrigeración utiliza agua de mar y se dispone de un depósito acumulador de agua fría de 5.000 m<sup>3</sup> de capacidad.

## 2) Sistemas geotérmicos autónomos

Las diferentes administraciones, aparte de garantizar los servicios básicos a los ciudadanos, deben garantizar que estos se den en unas condiciones óptimas. De este modo, tanto los edificios públicos como aquellos vinculados a las infraestructuras de transporte público deben mantener unos niveles térmicos adecuados. En determinadas latitudes y épocas del año, las puntas de calor estival o de frío invernal dificultan la prestación de servicios de manera adecuada. El intento de aplicar sistemas de climatización convencional en estos grandes espacios supone un gran dispendio económico y ambiental.

En este sentido, el uso de la energía geotérmica puede constituir una aportación fundamental para mejorar la sostenibilidad del sistema. Hoy en día existen dos tipologías de instalaciones: verticales y horizontales. Las primeras realizan una perforación vertical de hasta 150 metros, por donde hacen circular fluidos que intercambian los flujos térmicos. Dado que el gradiente de temperatura de la corteza es de 3 °C cada 100 m (IGME 2008), cuanto mayor sea la profundidad, mayores serán los rendimientos. Las instalaciones horizontales, en cambio, requieren de la instalación de tubos a menos de 5 m de profundidad en una superficie entre 1,5 y 2 veces la superficie que se desea climatizar. Una tercera variante consistiría en perforar hasta encontrar un acuífero, o curso hídrico, donde la transmisión energética sería más rápida.

Figura 9. Funcionamiento de un sistema geotérmico



Fuente: [www.geotermiaonline.com](http://www.geotermiaonline.com)

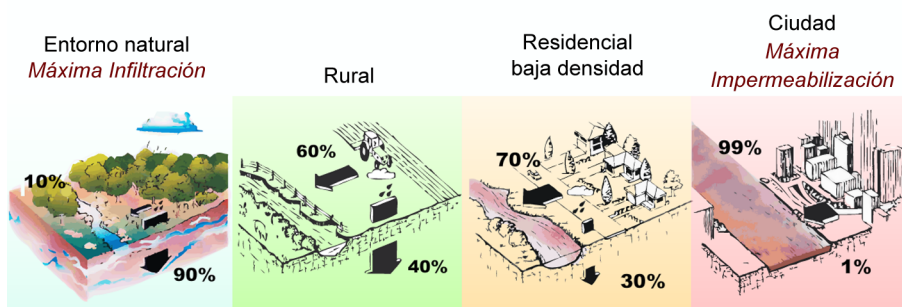
En cualquier caso, la instalación de estos sistemas revierte en un ahorro energético y económico considerable. El único inconveniente radica en la necesidad de planificar las infraestructuras y los edificios teniendo en cuenta el sistema, ya que su implementación a posteriori tiende a incrementar considerablemente los costes.

### 3.3. Soluciones que inciden sobre el consumo de agua

El agua, como recurso natural, se ha convertido en uno de los bienes más preciados en los últimos tiempos, puesto que su elevado consumo por las sociedades del bienestar ha desequilibrado el ciclo natural. Ese hecho también se ve agravado en muchas regiones por los cambios climáticos, que están prolongando los periodos de sequía y reduciendo los periodos de lluvia.

El sistema de drenaje urbano es una de las infraestructuras más estudiadas, puesto que, a consecuencia de la urbanización de las regiones, disminuye la capacidad de infiltración de las cuencas y se generan graves problemas de inundación y disminución en la recarga de los acuíferos, además de aumentar cuantitativamente el volumen de aguas a drenar. En este último caso, los efectos económicos sobre la implantación de la red de drenaje son enormes, puesto que el aumento de caudal obliga a la ejecución de tuberías de mayor diámetro y, en el caso de redes unitarias, incrementa el coste del tratamiento de las aguas.

Figura 10. Efectos de la impermeabilización en el ciclo del agua



Por ello, los avances en los sistemas de drenaje se centran principalmente en la búsqueda de soluciones que reduzcan la superficie impermeabilizada de los asentamientos urbanos. El objetivo es que las áreas verdes trabajen como una «porción verde», con atributos y características propias de una zona verde localizada en un ecosistema natural. En el medio natural, cuando el agua de lluvia alcanza la superficie del terreno, esta se divide en dos fracciones:

- **Infiltración superficial:** el agua que se infiltra en el terreno y también la que moja la capa superficial. Es aprovechada por algunas plantas a modo de riego.
- **Escorrentía:** el agua que no puede infiltrarse porque el suelo no tiene capacidad o porque no puede ser retenida debido a la rugosidad del terreno,

de modo que continua fluyendo sobre la superficie y forma el sistema hídrico. De este sistema nacen los ríos.

Así, la innovación en este campo tendrá como objetivo recuperar la capacidad de infiltración de los suelos naturales en las ciudades.

### 1) Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS)

Se trata de sistemas de drenaje dirigidos a gestionar la escorrentía superficial generada en los tejados y en las aceras públicas, infiltrarla en el terreno y evitar que se viertan a la red de drenaje pública. Se calcula que aproximadamente un 80% de las aguas de lluvia puede ser captado con estos sistemas, reduciendo así las secciones de los elementos de la red de drenaje (tuberías, pozos de visita, etc.).

Si bien actualmente existen muchos sistemas de este tipo, de forma general pueden agruparse principalmente en dos grupos: SUDS de origen natural y SUDS de origen artificial. La utilización de una tipología u otra depende de factores técnicos y económicos, pero el objetivo de ambos es el mismo:

- Infiltrar una parte de las aguas de lluvia para reducir la escorrentía superficial producida por la nueva urbanización.
- Reducir los caudales de las aguas de lluvia que deben ser vertidos al medio natural.
- Laminar en origen los flujos correspondientes a las avenidas de lluvia.

La principal diferencia entre estos sistemas es que, en el primer caso, se utilizan materiales de origen natural para su funcionamiento, mientras que en el segundo se recurre a elementos de origen artificial. El coste asociado a cada uno de estos sistemas también es diferente, puesto que el uso de elementos artificiales normalmente implica un coste mayor.

En principio, los materiales utilizados en los **SUDS de origen natural** suelen ser gravas. No obstante, para favorecer la reutilización y el reciclaje de materiales también pueden usarse residuos procedentes del hormigón o el fresado del aglomerado, debidamente limpiados y triturados. Además de esos residuos, pueden utilizarse residuos urbanos tales como garrafas de plástico, que comprimidas y colocadas en el interior de un pozo pueden actuar como elementos de drenaje.

En cualquiera de estos casos, los materiales drenantes se utilizan para formar los pozos de infiltración del sistema, a través de los cuales el agua es infiltrada en el subsuelo a baja velocidad. Estos pozos están localizados en los parterres o zonas ajardinadas del espacio público o en otras áreas creadas para esa finalidad. En el caso de que el pozo llegue al límite de su capacidad de infiltración,

se colmata y el agua se vierte en los parterres inundándolos. Los parterres se diseñan con forma cóncava a fin de aumentar su capacidad de retención de agua y actúan como una balsa de retención local. La forma cóncava adoptada en los parterres o zonas verdes también sirve como alternativa a la red de riego, reduciendo así el consumo de agua de este servicio.

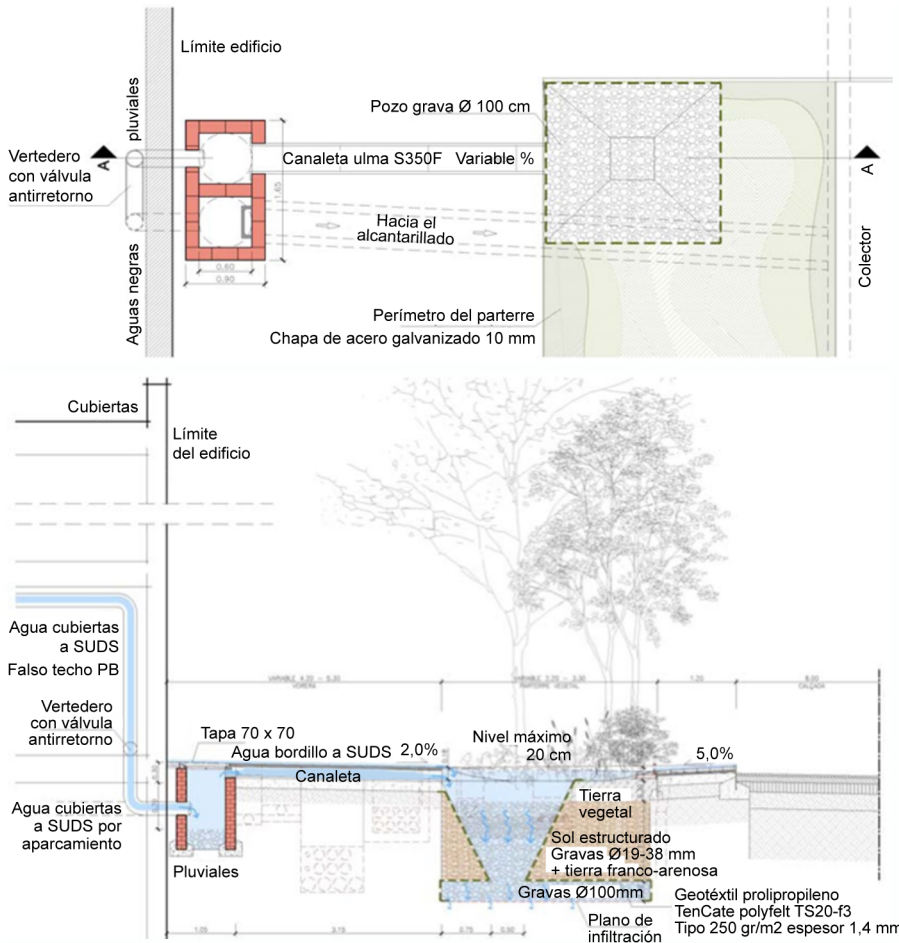
Las aguas generadas en las aceras son conducidas superficialmente hasta las áreas verdes donde se localizan los pozos de infiltración, mientras que las aguas generadas en los tejados se recogen a través de las redes internas de los edificios hasta una arqueta localizada en la acera. Después, estas son conducidas hasta el pozo drenante. La capacidad de retención de los tejados puede aumentarse mediante la ejecución de cubiertas invertidas, que actúan a modo de balsa de laminación local. Esta solución ayuda a controlar el caudal de agua generado, además de evitar el colapso de los pozos de drenaje durante fuertes episodios de lluvia. La capacidad de retención de este sistema se estima en unos 200mm/h (Herce y Miró, 2004).

Para evitar el fallo del sistema en caso de que los pozos lleguen a su máxima capacidad de infiltración y las áreas verdes a su máxima capacidad de inundación, se diseña un sistema alternativo que conduce las aguas que exceden la capacidad del sistema drenante a la red general de drenaje. En otras palabras, se prevé un aliviadero para el sistema de drenaje en caso de saturación.

#### Referència bibliogràfica

Herce, M.; Magrinyà, F. y Miró, J. (2004). *Construcció de ciutat i xarxes d'infraestructures*. Edicions UPC.

Figura 11. Sistema de drenaje de las aguas de lluvia retenidas en los tejados



En la primera imagen, planta del sistema, y en la segunda, alzado del funcionamiento. Fuente: *Projecte d'Urbanització de la primera fase del Pla Especial d'Infraestructures del barri de la Marina de la Zona Franca*. ESTEYCO, abril de 2012.

Por otro lado, los **SUDS de origen artificial** funcionan de forma análoga a los SUDS de origen natural, si bien utilizan elementos artificiales como células de drenaje, canales o depósitos modulares para la formación de los pozos de infiltración. Estos elementos son estructuras tridimensionales de forma rectangular, vacías, perforadas verticalmente y horizontalmente, y fabricadas con polipropileno (PP).

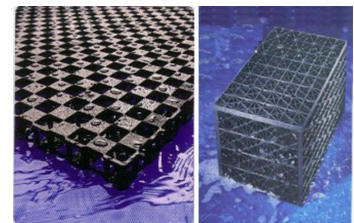


Figura 12. Células de drenaje y canales y depósitos modulares

Fuente: Catálogo de productos ATLANTIS - [www.drenajesostenible.com](http://www.drenajesostenible.com).

En el caso de las células, pueden utilizarse para el drenaje vertical u horizontal, y normalmente están protegidas con una manta geotéxtil. Por otro lado, los canales y depósitos modulares se utilizan para la construcción de conducciones para el drenaje longitudinal y como depósitos subterráneos de infiltración, retención y reutilización de aguas.

## 2) Pavimentos drenantes

La aplicación de materiales drenantes que contribuyan a reducir la escorrentía superficial de las nuevas urbanizaciones también puede aplicarse a los pavimentos. En ese sentido, la utilización de pavimentos abiertos que permitan la infiltración de las aguas de lluvia y que, por tanto, ayuden a reducir la superficie impermeable del proyecto, constituyen también un elemento más de

los nuevos sistemas de drenaje urbanos. Estas soluciones pueden equipararse a unas zanjas drenantes que permiten el paso de personas por su superficie, tal como se muestra en la sección urbana incluida en la figura siguiente.

Figura 13. Sección tipo de una vía urbana sostenible



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Soluciones que inciden sobre la contaminación atmosférica

Durante años, hemos asistido al crecimiento urbano de las ciudades como si de una fábrica urbana se tratase. Las ciudades crecieron en altura justificando una mejor eficiencia en la gestión del suministro de recursos, pero también en ocupación. Antiguas áreas verdes fueron destinadas a la construcción de nuevos edificios para paliar los problemas habitacionales de las corrientes migratorias y, en ese anhelo por conseguir ciudades al servicio de todo, el medio ambiente fue el principal perjudicado.

Ese crecimiento masivo no tardó en mostrar los primeros síntomas. El aumento de la contaminación atmosférica creció exponencialmente, poniendo en riesgo la salud de los ciudadanos.

Más que soluciones de tipo paliativo, debían explorarse soluciones que ayudaran a reducir los niveles de contaminación en todos los niveles, desde la escala individual (local) hasta la escala de ciudad.

La innovación en este campo se convirtió en una nueva forma de mercado, y nuevas propuestas urbanísticas salieron a la luz. Desde entonces asistimos al crecimiento de un área que promete convertirse en uno de los valores de mercado más interesantes de los próximos años.

En los apartados siguientes compilamos algunas de las innovaciones tecnológicas surgidas en el campo del urbanismo, cuya aplicación ya es una realidad.

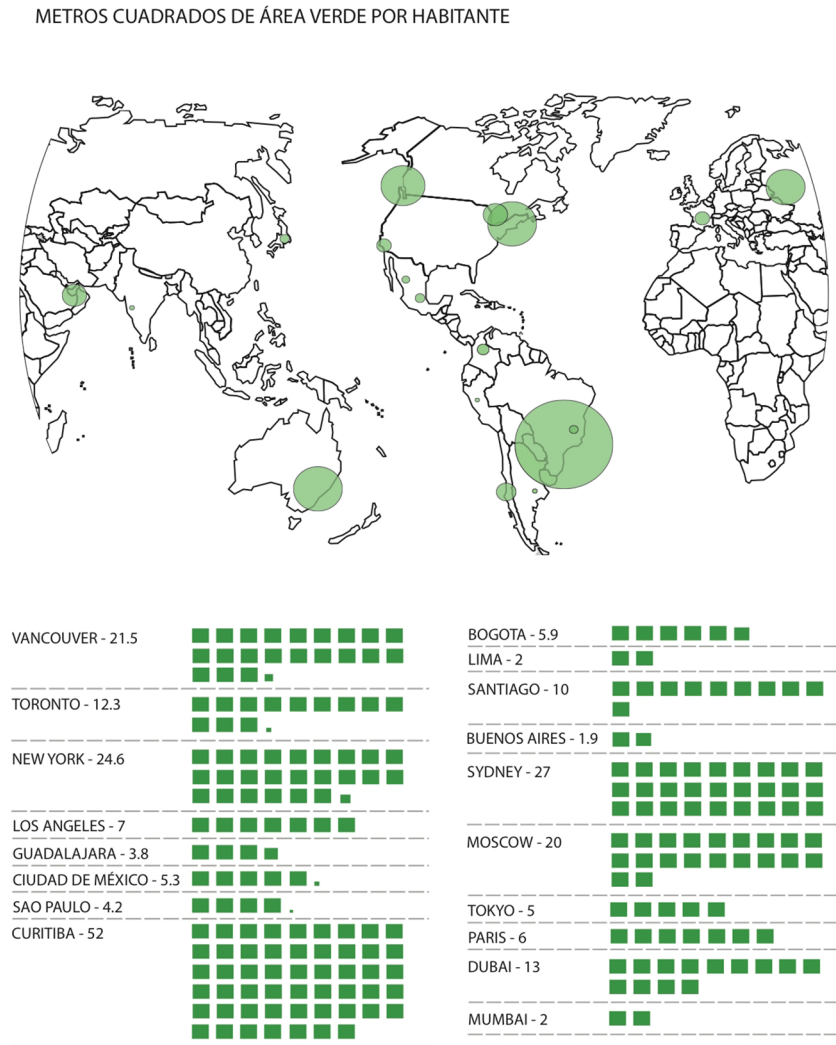


## 1) Cubiertas vegetales

Una de las principales causas del aumento de la contaminación atmosférica es la reducción de las áreas verdes en la ciudad y, por ello, el nuevo urbanismo cuida la proporción «entre verde y hormigón». Era necesario cambiar la forma de hacer ciudad; dotarla de espacios verdes, ventilación, arbolado, etc. Entender la importancia que tiene la vegetación para el equilibrio del ecosistema urbano y aprovechar ese valor para paliar los problemas de contaminación surgidos en los últimos años es fundamental.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda al menos entre diez y quince metros cuadrados de área verde por habitante en las ciudades, distribuidos equitativamente en relación con la densidad de población. Si observamos el gráfico siguiente podremos observar que ciudades como Buenos Aires se encuentra muy por debajo de este límite, y aún más lejos del ideal de 20 m<sup>2</sup> establecido por la propia OMS.

Figura 14. Metros cuadrados de área verde por habitante en las principales ciudades del mundo



Fuentes: [www.porlareserva.org](http://www.porlareserva.org); [www.fao.org](http://www.fao.org); [http://issuu.com/issuu.com/docs/mc-newspaper](http://issuu.com/issuu.com/issuu.com/docs/mc-newspaper); [www.siemens.com/CabeSpace:Is the Grass Greener?](http://www.siemens.com/CabeSpace:Is the Grass Greener?)

Fuente: Alma México, Taller 13 – Arquitectura Regenerativa.

**Pero ¿cómo crear nuevas zonas verdes en ciudades donde prácticamente no existe suelo urbanizable disponible? A través de las cubiertas vegetales.**

Las cubiertas vegetales aprovechan los tejados para la implantación de zonas ajardinadas artificiales (la vegetación crece de forma artificial o se establecen hábitats artificiales para tal fin). Se trata de convertir áreas inertes en naturales, donde la vegetación crezca libremente y cumpla una triple función: mejorar la percepción visual de la ciudad, reducir la radiación solar y ayudar a reducir la contaminación atmosférica.

El estudio de estas cubiertas ha demostrado que su aplicación se traduce en un ahorro energético, puesto que se trata de un aislamiento perfecto tanto en verano como en invierno. En verano, este ahorro puede alcanzar una reduc-

ción de hasta el 25% del consumo de aire acondicionado, y en invierno hasta un 50% de la calefacción. Con ello, se reducen también las emisiones de gases de efecto invernadero.

Pero el aislamiento no es solo térmico, pues también ayuda a amortiguar el ruido (aislamiento acústico) y a proteger las superficies donde están implantados.

A su vez, los jardines actúan como reductores de la contaminación, pues ayudan a retener los elementos tóxicos y a filtrar el polvo y la suciedad. También ayudan a reducir el volumen de escorrentía, pues un tan por ciento del agua de lluvia es retenido en la cubierta vegetal y otro es utilizado para el mantenimiento de estos jardines, además de regular su entrada en el sistema hídrico de la ciudad.

Los elementos principales que componen una cubierta vegetal son:

1) **Estructura de soporte:** es la base sobre la que se instalará la cubierta vegetal, y debe estar preparada para soportar el peso propio más el peso adicional debido a la cubierta vegetal en condiciones de saturación de agua.

2) **Impermeabilización:** para evitar la infiltración de las aguas retenidas en la cubierta vegetal o problemas debidos a la humedad, es muy importante impermeabilizar la estructura de soporte a través de membranas especiales.

3) **Sistema de drenaje de agua:** su función es garantizar el volumen de agua necesario para el crecimiento de la capa vegetal y el correcto drenaje del exceso de agua (excedente del sistema). Existen múltiples soluciones para estos sistemas, desde esterillas porosas hasta canaletas, gravilla, etc. Su diseño y composición dependerá del tipo de cubierta vegetal a implantar.

4) **Protección antirraíz:** el objetivo de esta protección es evitar que las raíces de la capa vegetal lleguen a la estructura de soporte y puedan dañarla. Actualmente existen múltiples membranas en el mercado que ofrecen esta protección además de impermeabilizar, optimizando la composición de las cubiertas vegetales.

5) **Filtro:** tiene por objetivo evitar el lavado del sustrato o medio de crecimiento, evitando que partículas mayores lleguen al sistema de drenaje y lo obstruyan. En este sentido, es importante optar por materiales no biodegradables, como alfombras de poliéster o de polietileno.

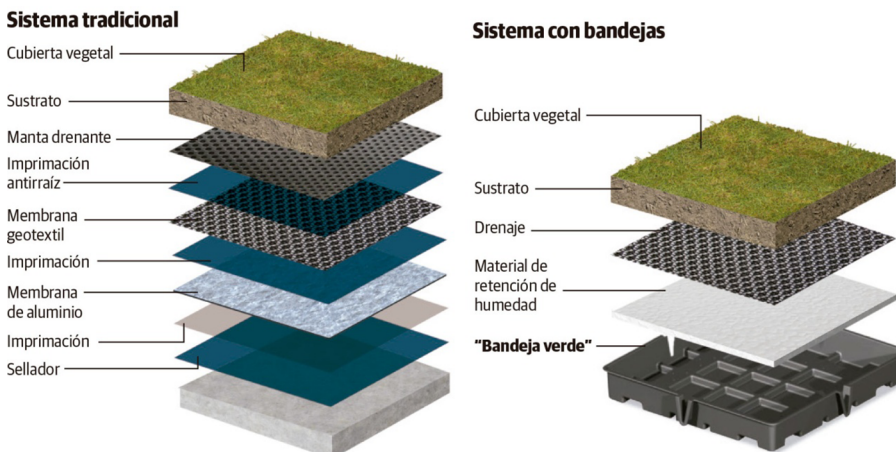
6) **Medio de crecimiento (sustrato):** es el sustrato que permite el crecimiento de las especies vegetales, y simula las características del suelo común. Otra de sus funciones es mantener el agua necesaria para el crecimiento de las plantas, así como drenar el excedente hacia el sistema de drenaje. El medio de crecimiento está compuesto por material inorgánico o «agregados» (vermiculita

expandida, gránulos de arcilla liviana expandida, roca volcánica, arena, etc.), material orgánico (hojas, pasto cortado, residuos de agricultura, turba, musgo abono, etc.), agua y aire (Pacheco-Rivas, 2017).

7) **Capa vegetal:** está compuesta por las especies vegetales diseñadas para la cubierta vegetal, cuyas características dependerán tanto del tipo de cubierta como de las condiciones ambientales y físicas del local de implantación.

Figura 15. Sistemas de cubiertas vegetales

## Cómo se construye



Fuente: Masdar. La Voz del Interior ([www.lavoz.com.ar](http://www.lavoz.com.ar)).

Existen varios tipos de cubiertas vegetales en función de la profundidad del sustrato y de los requerimientos de mantenimiento, pero los más comunes son: intensivas, semiintensivas y extensivas.

- **Cubiertas extensivas:** son la tipología más barata y ligera y, por tanto, la mejor opción para instalar en tejados de difícil acceso o en los de gran pendiente. El espesor del sustrato es reducido (de 7 cm a 10 cm), pues las plantaciones suelen ser del tipo rural (musgo, aromáticas, césped, etc.), con pocos requerimientos de agua, fertilizantes o de adición de nutrientes. El mantenimiento y el coste de implantación son bajos.
- **Cubiertas intensivas:** son similares a la construcción de un jardín convencional, y de ahí su común denominación de cubiertas ajardinadas. Esta tipología necesita una mayor carga estructural y mayor espesor de sustrato (mayor o igual a 15 cm), tanto para retener más agua como para permitir la plantación de vegetación variada. Es el sistema que proporciona un mayor aislamiento y, por tanto, el que mayores beneficios aporta en relación con el consumo energético del edificio donde está instalado. Es necesario un mantenimiento periódico. El coste de implantación es alto.
- **Cubiertas semiintensivas:** se trata de una solución intermedia. Disponen de un sustrato mayor al de las cubiertas extensivas pero menor al de las intensivas (entre 12 cm y 15 cm), lo que permite una mayor variedad ve-

getal, como plantas herbáceas, césped o pequeños matorrales. Son muy utilizadas en tejados finos parcialmente accesibles. Requieren un mantenimiento moderado y un coste de implantación medio.

Tabla 2. Aporte de peso de los diferentes tipos de cubierta vegetal

Tipo de cubierta vegetal	Extensiva	Semiintensiva	Intensiva
Peso que aporta (kg/m <sup>2</sup> )	50 a 170	150 a 250	Superior a 245

Fuente: Recomendaciones Técnicas para Proyectos de Cubiertas Vegetales.

Esta solución, que nació en los países escandinavos con el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya cuenta con legislación propia en ciudades como Copenhague, Toronto o París, donde se obliga su instalación en edificios de nueva construcción. Los resultados de esta regulación ya son visibles, por ejemplo, en Toronto, ciudad pionera en su aplicación, ya que se han generado 1,2 millones de metros cuadrados verdes en los edificios de la ciudad, lo que ha supuesto un ahorro energético de más de 1,5 millones de kWh para los propietarios de dichos edificios.

### Ventajas

- Ayudan a reducir el consumo energético: actúan como aislante térmico.
- Ayudan a reducir el calor de las zonas urbanas: actúan como reductor de la radiación solar (reducción del efecto «isla de calor» de las ciudades).
- Ayudan a reducir el ruido externo: actúan como aislante acústico.
- Ayudan a reducir la contaminación atmosférica.
- Ayudan a reducir la escorrentía superficial: absorben parte del agua de lluvia.
- Mejoran la imagen de la ciudad: función estética.
- Permiten la implantación de huertos urbanos comunitarios.

### Desventajas

- Necesitan de mantenimiento periódica.
- Solución con coste más elevado a los jardines tradicionales.
- Se añade peso a la estructura.
- No todos los edificios son aptos para su aplicación.

## 2) Pavimentos descontaminantes

Diariamente, la ciudad genera toneladas de contaminantes a través de la producción energética, el tránsito, la industria, etc., siendo los principales: los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), los óxidos de sulfatos ( $\text{SO}_x$ ), los carbonatos (CO), los compuestos orgánicos volátiles (VOC) y el material particulado (PM).

Pensar en posibles soluciones para combatir la contaminación obliga a entender la composición de nuestras ciudades. Por un lado, tenemos las áreas edificadas, que suelen ocupar un 50% de la superficie total, el sistema viario, que suele ocupar un 30%, y las zonas verdes, que se sitúan en un 20%.

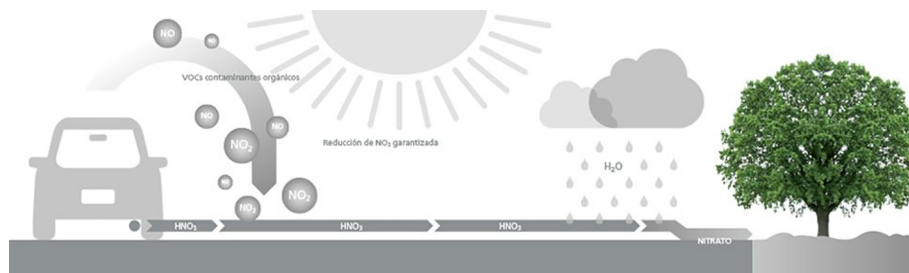
Durante años, se ha pensado que las actuaciones sobre el sistema viario se limitaban a una reducción del tráfico rodado, uno de los principales contaminantes de la ciudad, a la limitación de la velocidad de las vías, etc., pero la innovación tecnológica ha permitido aportar soluciones eficientes sobre los elementos físicos que componen el soporte infraestructural de la ciudad.

La aparición de pavimentos fotocatalíticos, popularmente conocidos como pavimentos descontaminantes, ha abierto una nueva puerta para la reducción de la contaminación atmosférica.

Este tipo de pavimentos permite transformar los principales contaminantes atmosféricos en productos inocuos para la salud humana y el medio ambiente a través de una **reacción fotocatalítica** (una oxidación similar a la de las plantas).

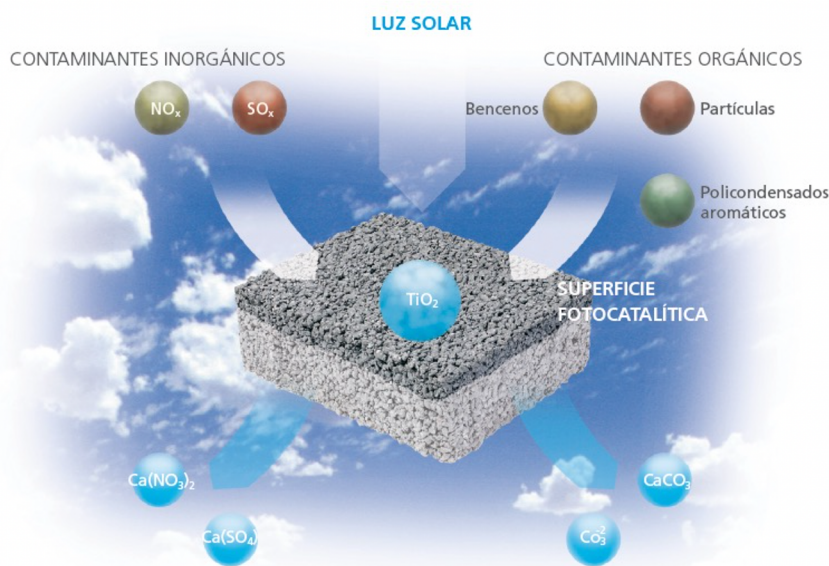
La fotocatalisis es una reacción fotoquímica que convierte la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador o sustrato, consistente en un material semiconductor que acelera la velocidad de reacción. Durante el proceso tienen lugar reacciones tanto de oxidación como de reducción (<http://www.fotocatalisis.org/>). Esta reacción es muy eficaz para las partículas  $\text{NO}_x$ , uno de los contaminantes más utilizados para medir la calidad del aire de las ciudades, aunque también permite eliminar otros de los principales contaminantes atmosféricos.

Figura 16. Funcionamiento de los pavimentos fotocatalíticos



Fuente: Breinco.

Figura 17. Funcionamiento de los pavimentos fotocatalíticos



Fuente: Breinco.

Durante la reacción química, los contaminantes son convertidos en sales fácilmente solubles al agua. Posteriormente, son absorbidas y eliminadas por condensación por el agua de lluvia o de lavado, retornando al medio como nutrientes para las plantas.

Una de las propiedades más interesantes de los fotocatalizadores es que son inocuos e inagotables y, por tanto, no afectan a las propiedades del material en el cual son aplicados, permitiendo mantener la estética de los productos tradicionalmente utilizados para la urbanización de la ciudad. Aunque existen varios tipos de fotocatalizadores, el más utilizado es el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y productos derivados de él.

El  $\text{TiO}_2$  permite la degradación de los contaminantes  $\text{NO}_x$  y VOC y descompone los compuestos orgánicos tipo pasta o líquido y los materiales biológicos. Así, degrada las películas invisibles de aceite y grasa presentes en los pavimentos de la ciudad y, con ello, la acumulación de suciedad. Esta propiedad le otorga la característica de «autolimpiante».

Su eficacia a largo plazo se comprueba a través de mediciones *in situ* de los pavimentos ejecutados, cuyos resultados demuestran una reducción media de óxidos de nitrógeno en torno al 60% y la estabilidad de su función descontaminante a lo largo del tiempo.

Los pavimentos descontaminantes fueron introducidos inicialmente a través de productos de pavimentación para aceras y plazas (baldosas y adoquines), pues su proceso de producción es bastante económico (son pavimentos com-

puestos por dos capas, de las cuales la superior es fotocatalítica), pero actualmente existen otras opciones que permiten su aplicación en otros ámbitos, como en la pavimentación de vías.

### **Productos fotocatalíticos**

- Elementos de urbanización: baldosas, adoquines y losas, bordillos, peldaños, soluciones de accesibilidad, piezas para vados, etc.
- Pavimentos de hormigón para aceras, vías urbanas o carreteras.
- Pavimentos asfálticos percolados con lechada cementosa fotocatalítica, para uso en carreteras o vías urbanas.
- Fachadas y cubiertas de edificios.

En el caso de las baldosas, losas y adoquines, existen múltiples opciones de formato y color en el mercado, pero, sin duda, las más interesantes son aquellas que además de la propiedad fotocatalítica incorporan en su composición materiales procedentes del reciclaje, como son los pavimentos Air-clean de Breinco Blue Future o ecoGranit de Pavimentos de Tudela.

Otra solución eficaz y económicamente más atractiva, es el uso de pavimentos de hormigón fotocatalíticos. Este tipo de pavimento puede ser ejecutado de dos formas distintas: como hormigón premezclado (donde la mistura del fotocatalizador se da en la mezcla) o a través de la aplicación de una capa final fotocatalítica ultradelgada sobre un pavimento de hormigón tradicional.

Una opción interesante es el hormigón drenante fotocatalítico, que además de presentar ventajas desde el punto de vista de la descontaminación, permite mejorar el drenaje del agua de lluvia.

La facilidad de incorporación de un fotocatalizador en elementos de hormigón (ya sea en premezcla o capa final), permite extender su uso más allá del pavimento, como en aplicaciones para fachadas y cubiertas de edificios o muros, por ejemplo, y ello supone un avance importante en la gestión de los contaminantes producidos en la ciudad.

El uso de fotocatalizadores no se limita únicamente a elementos de hormigón. Para la pavimentación de vías urbanas y carreteras puede optarse por los pavimentos asfálticos descontaminantes. Los más usados consisten en la combinación de una mezcla bituminosa abierta con percolación de una lechada fotocatalítica, aunque actualmente existen otras tecnologías aplicables sobre cualquier soporte o capa de rodadura, como pueden ser los espráis o los lodos (Almazán y Rovito, 2012).

### **3) Hormigón descontaminante sin luz solar/UV**



Una de las principales limitaciones de los hormigones fotocatalíticos presentados en el apartado anterior, es que necesitan la luz solar o luz UV para provocar la reacción química que permite reducir los contaminantes presentes en el aire. Esto impide su aplicación en áreas con elevado tránsito de vehículos donde no llega la luz solar o la luz UV, como túneles o pasos inferiores.

Frente a esta dificultad, la empresa cementera LafargeHolcim desarrolló una nueva tecnología denominada «Depolluting», capaz de neutralizar los contaminantes del aire por el simple contacto del aire con la superficie cementosa tratada (Julio, 2015). Así, es capaz de descontaminar tanto de día como de noche.

Esta nueva tecnología abre un nuevo abanico de posibilidades, pues se trata de un material con menos restricciones, cuyo uso no se limita únicamente a proyectos externos, y cuya durabilidad coincide con la vida útil del elemento en el que se aplica.

Por otro lado, su aplicación es viable tanto en hormigones *in situ* como en hormigones prefabricados o morteros.

### **3.5. Soluciones que inciden en la gestión de la ciudad**

La gestión de las redes de infraestructuras, consideradas como un elemento de mejora de la calidad de vida que las ciudades pueden ofrecer a sus habitantes, constituye uno de los principales retos a los que deben enfrentarse las administraciones públicas.

La gestión del espacio público se ha centrado mayoritariamente en el control del transporte público, los espacios de ocio, el tráfico, etc., dejando en el olvido el control de las redes de servicios que abastecen las metrópolis. Esta gestión ha quedado relegada a las empresas gestoras, que ante esta situación, se han adueñado del espacio público como si de una concesión privada se tratara. Tal situación perjudica enormemente el control del poder público sobre sus redes, ya que parece haber perdido potestad sobre el diseño de sus servicios, el control del subsuelo de sus ciudades y el nivel de servicio que percibe el ciudadano, puesto que este se deja a criterio de compañías gestoras que muchas veces no atienden a las necesidades reales de la población por la rigidez propia de sus normativas internas.

La gestión que hasta ahora ha ejercido la administración en la ordenación del espacio público en superficie debería ser transferida en igualdad de condiciones al espacio público enterrado y aéreo, de acuerdo con esta nueva concepción de la ciudad por capas. En este escenario, la introducción de pequeñas mejoras en las redes sería mucho más sencilla y posibilitaría la mejora de los niveles de servicio ofrecidos, así como la sostenibilidad del conjunto.

Se abre un nuevo campo a ser explorado: la gestión integral de la ciudad. En la actualidad, algunas ciudades empiezan a entender esa necesidad de cambio en el ámbito de la gestión, y se vislumbra esa integración del proyecto como un todo en algunos de los proyectos que están siendo ejecutados. En la ciudad de Barcelona, por ejemplo, se ha creado un organismo propio para la gestión de todos los proyectos relacionados con el AVE, lo que facilita la implantación de soluciones comunes y la posterior gestión del espacio urbano.

El ámbito de gestión debe ampliarse. Debemos pasar de atender a criterios de mantenimiento y funcionamiento de las redes a controlar el consumo, la producción, incidir sobre la distribución y optimizar el suministro.

### 1) Sistemas integrados de gestión

Los sistemas integrados de gestión se basan en softwares que permiten la monitorización de las redes en tiempo real. Mediante sensores, cámaras, temporizadores, etc., se controlan tanto los problemas que puedan surgir en la red (fugas, accidentes de tráfico, etc.) como los consumos.

Estos dispositivos se basan en sistemas de información geográfica que permiten localizar el elemento requerido a partir de sus coordenadas.

La aplicación de estos sistemas en el ámbito de las infraestructuras de transporte puede servir también para mejorar la información del usuario. Se trata de aumentar la eficiencia del sistema a partir de la información recibida. Por ejemplo, podemos obtener la localización de un autobús en tiempo real, lo que permite una capacidad de respuesta a la demanda más eficaz, a la vez que proporciona al usuario una capacidad de decisión y programación mayor.

La vinculación de los sistemas de gestión a *apps* móviles ha mejorado el servicio al usuario en los últimos años, pero también ha dejado a la luz las fallas del sistema. El usuario se convierte así en actor conocedor de la red y, por tanto, se torna más crítico con el servicio recibido, puesto que dispone de una capacidad de intervención sobre el mismo que antes no existía.

### 2) Galerías de servicios

En el caso específico de las redes de servicios urbanos, la implantación de galerías de servicios supone un avance en la mejora de gestión de las redes, puesto que este tipo de implantación permite un control directo de las mismas, además de facilitar la instalación de cámaras y sensores conectados a un software de gestión.

Una de las principales limitaciones es el coste de implantación, muy superior al de los sistemas convencionales. Se trata de un factor que acaba perjudicando enormemente a la aplicación de estos sistemas en la mayoría de ciudades. Aun

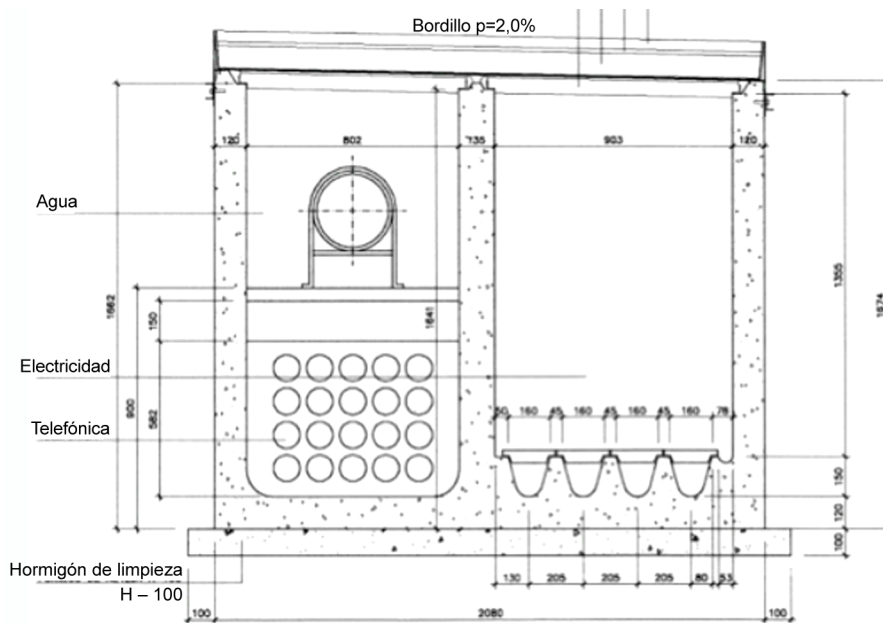


Figura 18. Imagen de una galería de servicios  
Fuente: Elaboración propia.

así, el futuro de las redes debería caminar en esa dirección, puesto que, además de las ventajas en términos de gestión, las galerías de servicios permiten una disposición más ordenada y más segura del subsuelo.

A camino entre el sistema convencional y las galerías de servicios existe una solución híbrida: el conducto prefabricado polivalente y registrable (CPPR), que a pesar de no permitir la inspección de las redes con la misma facilidad que en las galerías de servicios (donde el operario puede caminar por su interior), permite la instalación de sistemas de control así como una distribución ordenada de los servicios en el subsuelo.

Figura 19. Sección de un conducto prefabricado polivalente y registrable



Fuente: Elaboración propia.

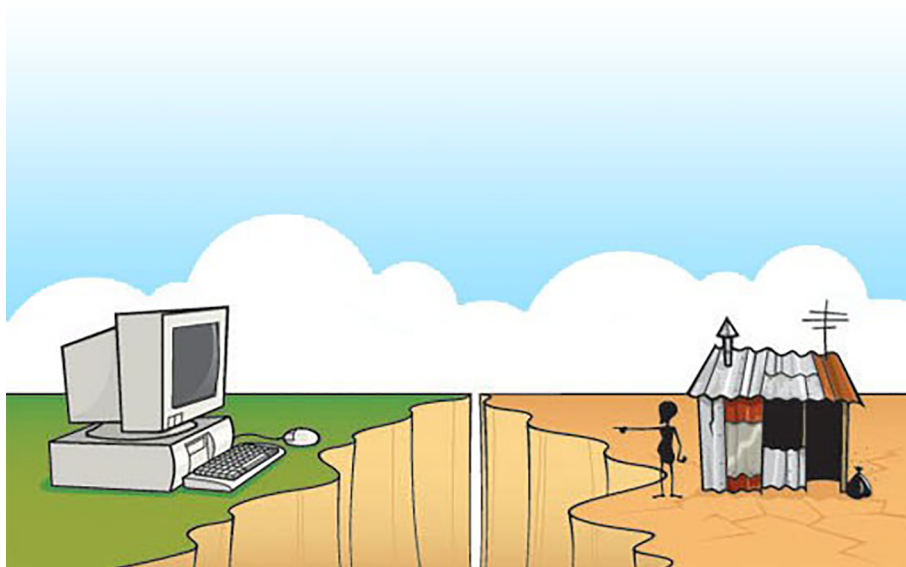
### 3) Wifi público

Desde su creación en los años 60, internet ha cambiado la forma en la que nos comunicamos, pero también la forma como gestionamos la información. A pesar de ser uno de los avances tecnológicos más revolucionarios del último siglo, el acceso a internet aún no es universal, considerándose un lujo para ciertos grupos sociales en determinados países, y en otros, objeto político con restricciones de acceso.

Como cualquier nueva invención, internet ha generado nuevos impactos sobre la sociedad que deben ser considerados en el planeamiento de nuestras ciudades. Desde el surgimiento de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) las sociedades han evolucionado de forma diferente, apareciendo nuevas «brechas sociales». En este sentido, el concepto de «**brecha digital**» explica las diferencias entre las personas que utilizan las TIC como

parte de su vida diaria y aquellas que no tienen acceso a las mismas o, si tienen acceso, no saben cómo utilizarlas. Entendemos personas como grupos individuales, regiones, estados, ciudades, grupos, etc.

Figura 20. Ilustración sobre la «brecha digital» en países subdesarrollados



Fuente: [www.disenosocial.org](http://www.disenosocial.org)

En junio de 2011, la ONU declaraba el acceso a internet como un derecho humano. Según palabras de su relator especial Frank La Rue «la única y cambiante naturaleza de internet no solo permite a los individuos ejercer su derecho de opinión y expresión, sino que forma parte de sus derechos humanos y promueve el progreso de la sociedad en su conjunto».

Cinco años más tarde, en septiembre de 2016, la Unión Europea se posicionaba a favor de este derecho, comprometiéndose a proporcionar acceso universal a la banda ancha para los ciudadanos de los países miembro. Para ello, establecía como meta la disponibilidad de conexión wifi gratuita en todos los espacios públicos de la UE antes de 2020.

El acceso universal a internet genera sociedades más igualitarias e más inclusivas. Hay que tener en cuenta que la «brecha digital» no solo se refiere a la diferencia entre países de distinta índole, sino que también hace referencia a las diferencias entre grupos sociales de una misma ciudad/región. Si consideramos un país en el que se considera que la cobertura de internet alcanza a toda su población, el concepto de «brecha digital» nos permite conocer aquellos grupos excluidos del acceso a internet, ya sea debido a cuestiones económicas o a cuestiones generacionales o de salud, como pueden ser las personas mayores. Es lo que llamamos «**pobreza digital**».

Como apuntan Mendoza y Caldera (2014), la brecha digital implica que hay una distribución no homogénea en el acceso a la infraestructura de comunicaciones, la conectividad y los contenidos digitales. Esta brecha se sustenta en desigualdades sociales preexistentes y además puede profundizar esas desigualdades. El nivel educativo, el estatus socioeconómico, la ubicación geográfica, el género, la edad, la pertenencia a determinados grupos étnicos, la presencia de discapacidades, son todos aspectos que explican la exclusión digital de distintos colectivos y la agudización de su situación de exclusión social.

Pero la brecha más importante no se produce solamente en términos de acceso a la tecnología en sí misma, ya que las comunidades afectadas por la brecha digital de lo que quedan excluidas es de lo que estas tecnologías permiten hacer: la capacidad de procesar, seleccionar y producir información como un factor de desarrollo social. Por otra parte, los excluidos digitales no tienen la posibilidad de desarrollar un papel activo en la sociedad de la información y, por tanto, no serán tomados en cuenta en su construcción. Esto implica que los valores y criterios de mercado que priman en el desarrollo de internet y las telecomunicaciones los van a dejar cada vez más excluidos. Con lo cual, la exclusión digital se agudiza y, con ella, una vez más, la exclusión social (Mendoza y Caldera, 2014).

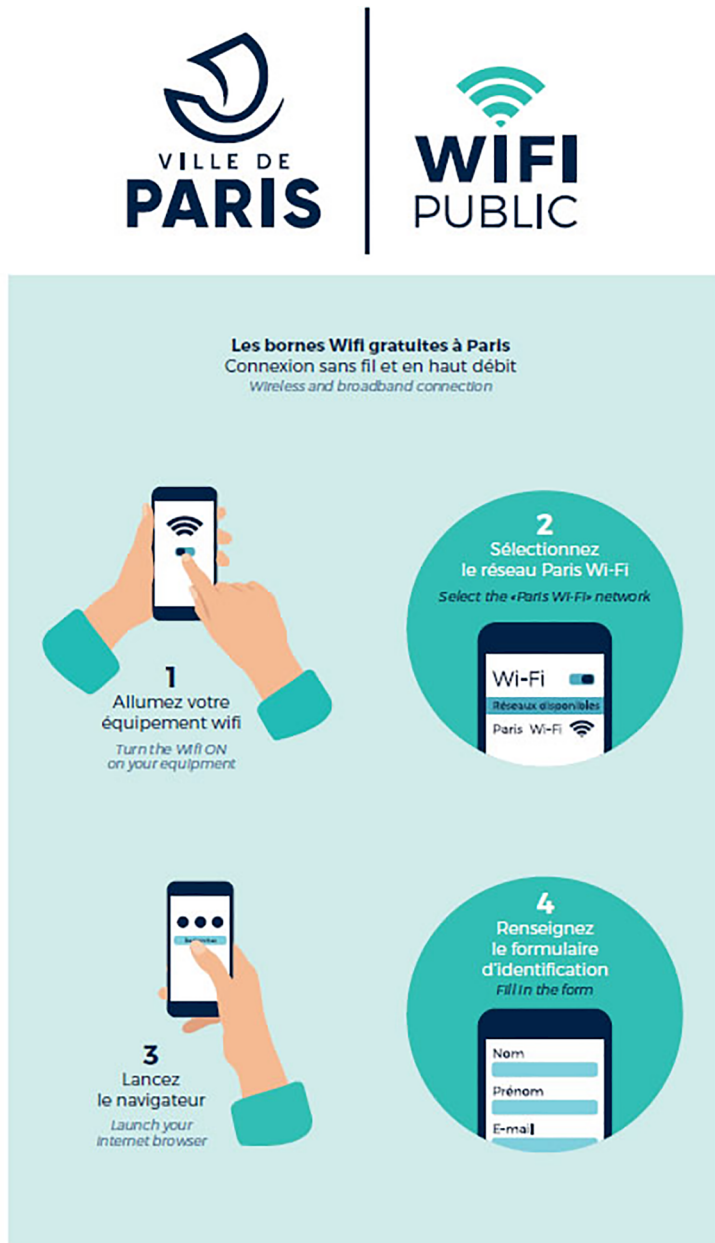
Por tanto, a pesar de que la disponibilidad de wifi gratuito en la ciudad puede verse como un salto tecnológico hacia una ciudad más «smart», se trata de un servicio mucho más amplio, que envuelve tanto cuestiones tecnológicas como sociales. Cuando se elimina la brecha digital, por ejemplo, es posible mejorar los trámites burocráticos, que pueden ser digitalizados y gestionados de una forma más eficaz.

A nivel tecnológico, la implantación de una red wifi en la ciudad permite el ahorro del consumo de energía entre otros, ya que permite programar y gestionar los servicios de la ciudad de forma remota a través de la red de «**hotspots**» o «puntos de conexión».

Una de las ventajas de esta nueva tecnología es que su coste de implantación es muy bajo cuando comparamos con otros servicios, pues no requiere de obras y puede utilizarse la infraestructura de soporte existente.

Sin duda, el futuro de la ciudad pasa por la implantación de dicha tecnología, y no es por casualidad que las principales ciudades europeas ya hayan disponibilizado este servicio desde hace unos años. En París, por ejemplo, existe una red de «hotspots» repartidos en parques, plazas y edificios públicos, operativa de las 7:00 a las 23:00 todos los días, cuya ubicación puede consultarse a través de la página del Ayuntamiento. El acceso es gratuito durante dos horas con registro previo, y pasado ese tiempo es necesario volver a iniciar sesión.

Figura 21. Red wifi de la ciudad de París



Fuente: [www.paris.fr](http://www.paris.fr)

Otra de las ciudades europeas de referencia en este servicio es Barcelona, que posee la mayor red wifi libre de España y una de las mayores de Europa, con más de 400 puntos de red inalámbrica repartidos en espacios públicos de la ciudad. Esta red, cuya implantación empezó en 2011, tiene la velocidad de conexión limitada a 256 Kbps, evitando las descargas, escuchar música o ver vídeos. El acceso es totalmente gratuito y sin limitación de tiempo.

Sin embargo, aunque la existencia de redes wifi en la ciudad tiende a generalizarse, la disponibilidad del servicio puede ser muy variable. Si en Barcelona o París el acceso es abierto para cualquier usuario, en ciudades como Amberes (Bélgica), su acceso es limitado a los usuarios de alguna de las compañías que ofrecen los puntos wifi de la ciudad.

En América Latina, la implantación de redes wifi gratuitas está siendo más tardía, pero ciudades como Santiago de Chile, Buenos Aires, México, Lima o São Paulo ya disponen de este servicio. Se trata de redes impulsadas tanto por el Gobierno o las municipalidades como por empresas privadas. En el caso de Chile, por ejemplo, este servicio empezó en 2014 a través del proyecto de gobierno «WiFi ChileGob», y actualmente su cobertura abarca 16 regiones del país. En el caso de México o São Paulo, fue Google quien habilitó este servicio a través de su plataforma Google Station, que tiene por objetivo expandir la conectividad a internet a través de la implantación de puntos de acceso a wifi gratuito y de alta calidad en la ciudad. Actualmente Google Station está presente en 7 países: India, Indonesia, México, Brasil, Filipinas, Nigeria y Tailandia, y se ha erguido como la primera iniciativa privada en facilitar un servicio que, como indicamos al inicio de este apartado, ya es considerado como un derecho de cualquier ciudadano.

#### 4) Generación y almacenaje de datos

Cierto es que las soluciones tecnológicas vistas en los apartados anteriores pueden considerarse innovadoras, incluso contribuirán, sin lugar a dudas, a mejorar la sostenibilidad en las ciudades futuras. Lo que también es cierto es que, por sí mismas, ninguna de ellas realiza una contribución sustancial en cuanto a inteligencia infraestructural. El concepto de «infraestructura inteligente» se refiere a aquellas infraestructuras capaces de recopilar datos de uso, transmitirlos, almacenarlos y analizarlos para adaptar su operativa. Todo ello, obviamente, en la búsqueda de una explotación más eficiente de los recursos disponibles. Este apartado se centra, pues, en el uso del comúnmente llamado «internet de las cosas» (*Internet of Things, IoT*) aplicado a las infraestructuras urbanas para conseguir dicha interacción entre infraestructura, datos de uso y toma de decisiones.

El concepto de *IoT* se basa en el tipo de relación que permite. Si la telefonía permite una conexión persona a persona, del mismo modo que las redes sociales, el internet de las cosas permite la conexión directa entre máquinas. Esto implica el uso de instrumentos para la identificación, el rastreo, la monitorización y la toma de medidas de forma automática. Así mismo, engloba también el tratamiento de datos semánticamente estructurados y listos para ser compartidos.

Las aplicaciones del *IoT* a la ciudad pueden ser múltiples, pero no deben ser entendidas como redes adicionales, sino como complemento tecnológico de las redes existentes para darles esta capacidad para convertirse en inteligentes. Por ejemplo, considérese el caso de un semáforo con un sensor de movimiento que siempre permite la circulación de vehículos excepto cuando se aproxima un peatón. También sirve el caso de los aparcamientos que detectan automáticamente su ocupación y ofrecen información directa a los conductores. O,

incluso, los autobuses con GPS incorporado que permiten al usuario ver su posición en tiempo real para así estimar el tiempo de llegada a una estación concreta.

El funcionamiento de dicha tecnología requiere, principalmente, de tres elementos. En primer lugar, de los elementos capaces de leer magnitudes reales y transformarlas a digitales, o viceversa. En segundo lugar, de los mecanismos de transmisión de los datos recopilados. Y, por último, de los elementos en donde dicha información es recopilada para su posterior análisis.

Los dispositivos electrónicos capaces de medir magnitudes físicas y transformarlas en señales eléctricas se llaman **sensores**. El proceso contrario, de eléctrico a real, se realiza mediante **actuadores**.

Los sensores pueden clasificarse según el tipo de magnitud a leer:

Tabla 3. Tipologías de sensor más comunes

Físicos	Temperatura, presión, luz, inclinación, etc.
Químicos	Concentración de moléculas o componentes, p. ej. CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , pH, etc.
Otros	No dan una lectura directa, sino que la obtienen de lecturas indirectas. Un ejemplo de este tipo de sensor son aquellos láseres capaces de estimar la concentración de partículas PM10 en el aire.

Los actuadores más comunes son los siguientes:

Tabla 4. Tipologías de actuador

Motores	Se controlan mediante modulación de ancho de pulsos, aunque existen modelos más avanzados que permiten controlar la posición dentro de un rango dado.
Domótica	Incluye básicamente aplicaciones para controlar temperatura, mover elementos (p. ej. puertas o ventanas), operar pequeños robots, etc.
Electroválvulas	Permiten o impiden el paso de un fluido o gas por un conducto.

El uso cotidiano de sensores y actuadores está largamente extendido para aspectos y tareas domésticas y personales de la gente. Los teléfonos inteligentes, por ejemplo, están equipados con GPS, brújulas, sensores de movimiento, linternas, etc. permitiendo una interacción fácil y sencilla. Para el caso de las infraestructuras urbanas, dichos elementos no se encuentran todavía tan extendidos, pero el avance acontecido en los últimos años es notable.

Para tratar los mecanismos de transmisión de los datos es necesario referirse a los **protocolos de comunicación**. Estos protocolos tienden a clasificarse entre capilares y celulares, y operan en unos espectros radioeléctricos previamente



establecidos. El *bluetooth*, por ejemplo, opera en la red IEEE 802.15.4, tiene un alcance de 50 metros, una velocidad de 100 Kbps, un consumo bajo y puede usarse en bandas por debajo los 868 MHz o a 2,4 GHz.

Finalmente, consideramos que dichas mediciones pueden constituir **bases de datos** cuando se almacenan en su contexto, con un formato adecuado e informando de sus unidades y rango asociado. En ese caso, consideramos que los datos constituyen **información**.

La propiedad de dichos datos es un aspecto fundamental sobre el que no se ha debatido lo suficiente. Las redes de servicios urbanos tienden a ser de utilidad pública, pero muchas veces están concesionadas a empresas privadas que se apropian de los datos generados. El concepto de «**datos abiertos**» pretende justamente acabar con dichas inercias y sitúa las administraciones públicas como propietarias de los datos, y dando acceso libre para que todo el mundo pueda disponer de la información sin restricciones. Esto permite, no solo el control por parte de la ciudadanía de los acontecimientos vividos, sino también el desarrollo de aplicaciones programadas por terceras partes y que permiten la interacción de los usuarios en tiempo real (p. ej. datos de tráfico urbano en los navegadores).

## 5) Tratamientos de datos para la toma de decisiones

Si imaginamos las bases de datos anteriores en el contexto urbano, entenderemos la gran cantidad de información que pueden llegar a almacenar. Pongamos el caso de un aforo de tráfico ubicado en una vía principal de tránsito. Dicho aforo genera un estímulo cada vez que un vehículo pasa por encima del mismo. Incluso es capaz de determinar si dicho vehículo es una motocicleta, un coche o un camión. La recopilación de dichos datos puede generar una tabla de miles de registros diarios, con una columna adicional para la hora del día y otra para el tipo de vehículo. Por tanto, para una calle por la que pasan 10.000 vehículos/día, estaríamos recopilando hasta 30.000 datos. Multipliquemos dicho número por el número de calles de una ciudad para hacernos una idea de la magnitud del problema. Sin hablar siquiera de todo el resto de redes y situaciones que queramos medir.

El primer concepto a tener presente es el comúnmente llamado «**datos masivos**» (*Big Data*). El concepto no se refiere únicamente a la cantidad de información a almacenar, sino que abarca el conjunto de técnicas para el tratamiento de datos, en entornos de gran volumen, variedad de orígenes, con cierto grado de incertidumbre y en los que la velocidad de respuesta es crítica (Laney, 2001).

En el contexto de las *smart cities*, es obvio que el volumen de datos captados en las ciudades puede ser masivo. Lo que resulta más complejo es determinar las técnicas y herramientas que permitan su posterior análisis. Hasta el momento se ha venido trabajando con **modelos relacionales** de computación distribuida, escalable y confiable (p. ej. Apache). Las bases de datos relacionales se

basan en la organización de la información en pequeños paquetes de datos que se relacionan entre ellos mediante identificadores. Esto permite mantener un cierto aislamiento de las operaciones y, por ende, su procesamiento es robusto ante posibles fallos de *hardware*. El problema surge cuando los datos de partida no están adecuadamente estructurados, o simplemente no se conoce *a priori* su contenido, dando lugar a bases de datos no relacionales (NoSQL). Los **modelos de computación no relacionales** programan consultas sobre los datos y aplican inteligencia artificial para comprender su contenido y extraer correlaciones. Esto los hace especialmente apropiados para el tratamiento del *Big Data*.

Otro aspecto interesante a considerar es la ubicación de los datos y el lugar en donde se producen los cálculos anteriores. El concepto de «datos abiertos» ya se ha introducido en el apartado anterior para determinar la facilidad de acceso a la información. No obstante, el lugar en donde se realiza la computación es también determinante. La gran cantidad de datos a procesar impide normalmente el uso de ordenadores de sobremesa, siendo necesario recurrir al *cloud computing*. Es decir, se pueden dividir las operaciones de cálculo para utilizar diferentes procesadores y luego volver a unirlos (*fog computing*); o bien optar por el uso de servidores *online* para el procesamiento de cálculos masivos. Estos procedimientos permiten además pagar únicamente por el uso de dicha infraestructura (*Infrastructure as a service, IaaS*), de la plataforma destinada (*PaaS*) o del *software* especializado (*SaaS*).

En cualquier caso, lo realmente interesante del tratamiento de los datos urbanos masivos es la posibilidad de utilizar los resultados como indicadores de seguimiento urbano para la toma de decisiones. Se pueden así definir **indicadores clave de desempeño** (*Key Performance Indicators*) para verificar el rendimiento de determinadas infraestructuras a lo largo del tiempo.

En el caso de una línea de autobús, por ejemplo, la trazabilidad de los GPS de los vehículos puede ayudar a estimar la tasa promedio de demora anual de cada línea. Pero incluso puede permitir también identificar en qué paradas o intersecciones los autobuses pierden más tiempo; y, por ende, tomar medidas correctoras para solucionar dicha problemática (p. ej. permitiendo la entrada al vehículo por todas las puertas, cambiando la fase semafórica, etc.).

El seguimiento de dichos indicadores puede incluso ayudar a las clases políticas a comprender las disfunciones de cada una de las redes y, en consecuencia, tomar decisiones de inversión, pero también reguladoras para mitigar las problemáticas detectadas.

### **3.6. Soluciones que inciden sobre las urbanizaciones informales y de baja renda**

Si bien la ciudad formal puede permitirse el lujo de implementar tecnologías punta que las posicionen en la carrera de las mejores *smart cities* del planeta, a pesar de que a veces su coste no justifique la inversión, ya que cuando se trata de zonas de baja renda la realidad es otra.

En estas zonas, los recursos suelen ser escasos, sobre todo cuando se trata de grandes extensiones, como las conocidas favelas de India o Latinoamérica, y los gobiernos tienden a optar por soluciones más baratas que rentabilicen el coste de la inversión y también minimicen los costes de mantenimiento.

Así, la innovación tecnológica en estas áreas debe venir de la mano de la economía y la durabilidad, pues normalmente son regiones donde la intervención urbana no suele darse de forma recurrente y, por tanto, no tienen cabida soluciones poco eficaces a largo tiempo.

Aunque las innovaciones en zonas de baja renda no despiertan tanto interés en la industria, pues los beneficios económicos son menores que los esperados en la ciudad formal (debe tenerse en cuenta que suelen ser inversiones que dependen de fondos públicos limitados o de donaciones), en los últimos años han aparecido algunas soluciones interesantes para resolver algunos problemas relacionados con los servicios básicos, como la electricidad o el tratamiento de las aguas residuales.

Algunas de estas innovaciones han surgido a partir de competiciones promovidas por organismos oficiales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que potencian la investigación en este campo a través de recompensas económicas, ya sea con donación directa o con la concesión de ayudas a la investigación.

En los próximos apartados hemos compilado algunas de las innovaciones tecnológicas surgidas en los últimos años para zonas de baja renda.

#### **1) Sistemas de iluminación alternativos**

A pesar de que aún existen muchos asentamientos humanos sin acceso a la red eléctrica, la iluminación se considera un servicio básico. En el hogar, permite aumentar la calidad de vida de las familias, pues posibilita realizar actividades después de las horas diurnas. En el espacio público, es un buen aliado de la seguridad ciudadana, pues evita la creación de áreas oscuras en la ciudad donde puedan proliferar actividades delictivas.

Una de las alternativas más extendidas para la generación de energía eléctrica son los sistemas de placas fotovoltaicas, que generan energía a través de la captación de la luz solar. Esta solución se ha aplicado a edificios, sistemas de iluminación, paneles eléctricos de la ciudad, etc., como se vio en las secciones anteriores.

En el campo de la iluminación pública, la integración de placas fotovoltaicas a los puntos de luz cambió el paradigma de la iluminación, pues frente a las conocidas redes de iluminación se abrió la posibilidad de implantar sistemas autónomos, que no dependieran de una misma fuente física.

Esta solución se aplicó en varias ciudades, sobre todo en áreas extensas como parques o plazas, aunque en la mayoría de los casos se duplicó la red por una cuestión de seguridad. Es decir, se mantuvo el suministro convencional a través de cables eléctricos y se introdujo el suministro independiente con placas fotovoltaicas.

También fue una solución utilizada en la iluminación de algunas carreteras, cuyo suministro eléctrico era complejo y la autonomía de estos nuevos sistemas aparecía como una alternativa interesante.

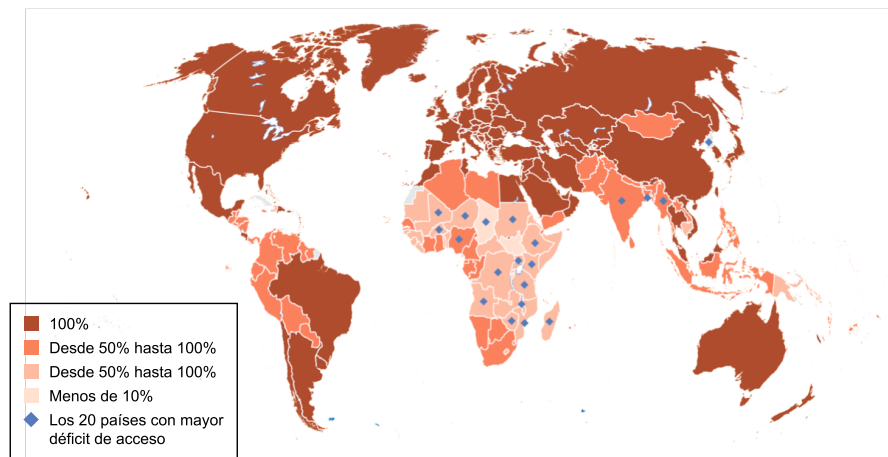
Pero siendo un sistema autónomo, ¿cuál fue el motivo para no extender su uso en zonas informales donde no existía suministro eléctrico? El coste.

Si nos centramos en la iluminación pública, aunque el valor de la inversión puede justificarse a largo plazo con el ahorro energético generado en la ciudad, en el caso de zonas informales, donde actualmente no existe red y, por tanto, no se pagan impuestos para tal fin, su rentabilidad es mucho más dudosa.

Por otro lado, si nos referimos a la integración de placas fotovoltaicas en los hogares de las áreas informales, la tecnología es prácticamente inviable, pues su elevado coste de instalación no permite su adquisición por parte de familias de baja renta. Así, su implantación depende exclusivamente de ayudas del Gobierno o de financiación de las ONG.

Según el «Informe de progreso energético de 2018» realizado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la División de Estadística de las Naciones Unidas (UNSD), el Banco Mundial y la Organización Mundial de la Salud, se calcula que actualmente mil millones de personas en el mundo no tienen acceso a la electricidad, un 13% de la población mundial, de los cuales casi el 87% vive en zonas rurales.

Figura 22. Población con acceso a la electricidad en 2016



Fuente: «Informe de progreso energético de 2018» realizado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la División de Estadística de las Naciones Unidas (UNSD), el Banco Mundial y la Organización Mundial de la Salud.

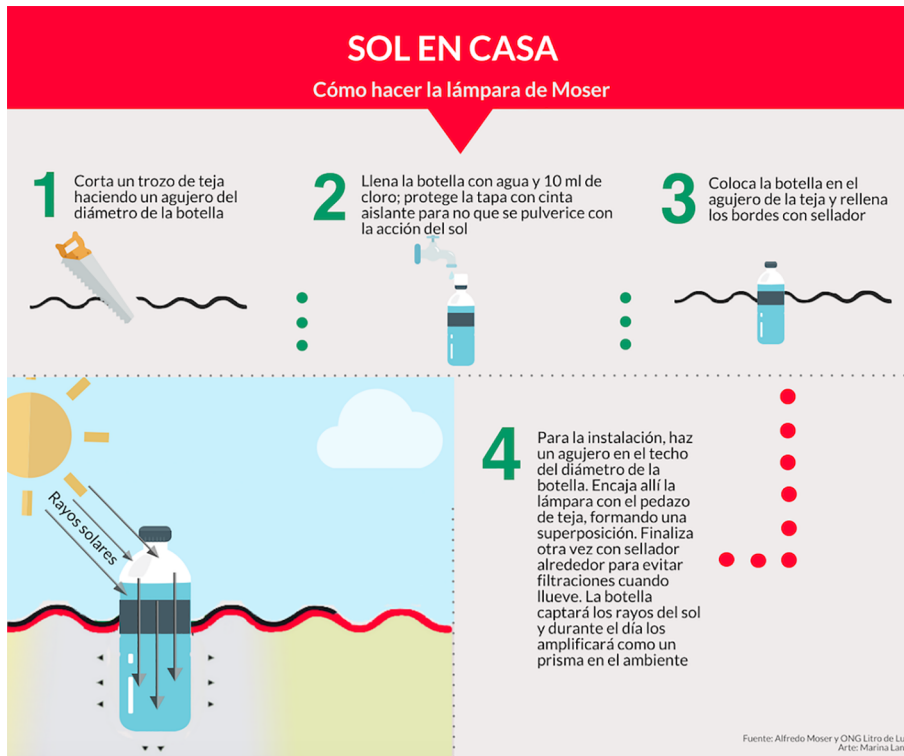
El suministro eléctrico continúa siendo un desafío de las áreas informales y, sobre todo, de aquellas localizadas en zonas rurales.

En 2002, surgió una solución de iluminación interesante de la mano del brasileño Alfredo Moser: la «luz embotellada». Se trata de un sistema donde la iluminación ocurre por refracción de la luz solar en una botella de 2 litros llena de agua.

Es una solución barata y mucho más sostenible que otros sistemas de iluminación autónomos utilizados en zonas de baja renta, como los de queroseno (contaminantes debido a la emisión de dióxido de carbono).

Para la implantación de esta solución solo se necesita una botella de agua, agua y cloro, sustancia utilizada para evitar la proliferación de algas. La instalación se realiza a través de un agujero en el techo de las casas, donde se encaja la botella de agua.

Figura 23.




Fuente: ONG «Un litro de luz».

Una de las limitaciones de este sistema es que solo funciona durante las horas diurnas, pues no existe almacenamiento de la luz solar. Para solventar este problema, la ONG «Un litro de luz» incorporó un sistema de cuatro piezas a la garrafa PET de la solución de Moser: una placa solar para captar la energía del sol, una batería para almacenarla, un conjunto de lámparas LED instaladas dentro de la garrafa PET y un circuito controlador que permite su funcionamiento automático cuando oscurece. Como se trata de placas solares pequeñas, su coste de adquisición hace viable la implantación de este sistema. Esta solución se aplica tanto para la iluminación interna de hogares como para la iluminación pública, donde la garrafa PET se incorpora a un poste en sustitución de los sistemas de iluminación convencionales.

La ONG «Un litro de luz» distribuye la solución de Moser desde 2006 y ya ha instalado casi un millón de botellas en más de 20 países.

Figura 24. Las soluciones usadas por la ONG «Un litro de luz» para la iluminación doméstica y pública




**AL ALCANCE DE TODOS**  
Las soluciones usadas por la ONG Litro de Luz para la iluminación doméstica y pública

**Lámpara diurna**

Creada en Brasil por Alfred Moser

Función: iluminar ambientes internos durante el día

Materiales: botella pet, agua y blanqueador




**Farol**


Desarrollado por la ONG Litro de Luz

Función: iluminar ambientes internos y externos de noche

Materiales: botella pet, panel solar, batería, lámparas de LED y caño de PVC



---




**Poste**

Desarrollado por la ONG Litro de Luz

Función: iluminar áreas públicas de noche

Materiales: botella pet, panel solar, batería, lámparas de LED y caño de PVC



**Lámpara nocturna**

Desarrollado por la ONG Litro de Luz

Función: iluminar ambientes internos de día y de noche

Materiales: botella pet, panel solar, batería, lámparas de LED

Fuente: ONG Litro de Luz | Arte: Marina Lang | Fotos: Divulgação y Gabriela Romeiro/Believe.Earth

Fuente:

Figura 25. Niños sostienen los faroles de la ONG «Un litro de luz», inspirados en la lámpara de Moser, en una comunidad de la Amazonia (Bruna Arcangelo / «Un litro de luz»)



Fuente: <https://believe.earth/es/como-hacer-una-lampara-de-botella-de-plastico-pet/>

En Filipinas, los hermanos Aisa y Raphael Mijeno inventaron en 2016 una lámpara que utiliza agua salada como medio para generar electricidad para iluminar o cargar teléfonos móviles. El sistema funciona con celdas galvánicas donde los clásicos electrolitos se reemplazan por el cloruro de sodio (NaCl),

sal). Esta solución fue creada con el objetivo de resolver los problemas de iluminación de las comunidades pesqueras de Filipinas, y por ello el uso de sal para el funcionamiento del sistema.

Se trata de una solución barata y eficiente y que, sin duda, puede ser una alternativa a los sistemas convencionales. El invento no está a la venta, y solo se distribuye a través de distintas ONG o gobiernos de comunidades de baja renta.

Figura 26.



Fuente: <http://www.salt.ph/>

## 2) Sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales

Una de las principales problemáticas a nivel mundial es la escasez de agua, sobre todo en países en vías de desarrollo, donde el acceso al agua potable es mucho más limitado.

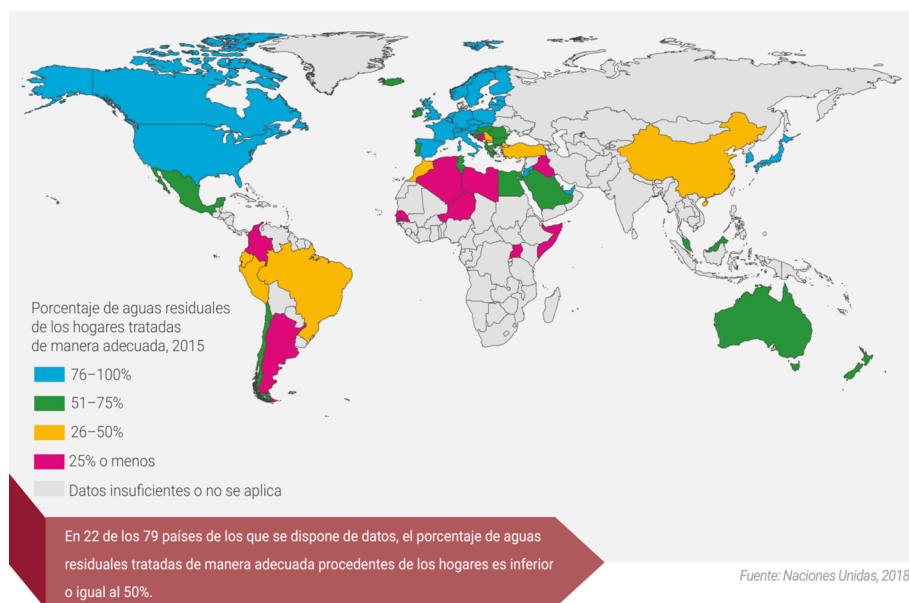
La escasez de agua está íntimamente relacionada con el tratamiento de aguas residuales, pues el no aprovechamiento de las aguas sucias generadas en los asentamientos poblacionales supone un desequilibrio del ciclo natural del agua. A pesar de ello, se estima que en el mundo más del 80% de las aguas residuales (más del 95% en algunos países en vías de desarrollo) se vierte al medio ambiente sin tratamiento alguno.

“En un mundo donde la demanda de agua dulce está en constante aumento y los escasos recursos hídricos se ven cada vez más exigidos por la captación excesiva, la contaminación y el cambio climático, sería sencillamente impensable no aprovechar las oportunidades que brinda una mejor gestión de las aguas residuales.” (WWAP; UNESCO, 2017).

En promedio, los países más desarrollados tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan. Este promedio cae a un 38% en los países de ingresos medios-altos y a un 28% en los países de ingresos medios-bajos. En los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. Estas estimaciones nos llevan a entender que más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento previo.



Figura 27. Porcentaje de aguas residuales de los hogares tratadas de manera adecuada en 2015



Fuente: Naciones Unidas, 2018.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible establece en su meta 6.3 que:

“De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”.

Sin duda, existe una urgencia en este campo, pues no se trata solo de escasez de agua, sino de las consecuencias de no tratar las aguas negras, pues la contaminación de los ríos y cauces naturales es fuente de infecciones, malnutrición y problemas digestivos, poniendo en riesgo la salud de millones de personas cada año. En este sentido, se estima que 1,7 millones de muertes al año son debidas a la contaminación del agua, de los cuales el 90% ocurre en países en desarrollo (principalmente debidos a la ingestión de patógenos fecales de origen humano o animal). Es en estos países donde urge explorar nuevas soluciones e invertir en innovación tecnológica que permita reducir los niveles actuales de una forma eficiente.

Los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales requieren de una inversión considerable, pues además de la implantación de canalizaciones para la recogida de las aguas, necesitan de una planta de tratamiento, cuyo coste suele inviabilizar este tipo de soluciones en áreas de baja renta o en países en vías de desarrollo.

En estas regiones, es importante adaptar la escala de proyecto, pues frente a las soluciones locales, pueden ser mucho más viables soluciones de tipo individual.

Históricamente, en áreas donde no existía red de saneamiento, ya se optaba por soluciones de tipo individual, las conocidas fosas sépticas, sistemas locales de almacenaje de los detritos humanos. Pero esta solución, a pesar de funcionar en ciertas regiones, presenta varios problemas en asentamientos urbanos donde no existen plantas de tratamiento final. Cabe entender que, por tratarse de unidades de almacenamiento, los detritos acumulados en las fosas deben ser retirados cada cierto tiempo por una empresa especializada y conducidos a una planta de tratamiento específica.

Así, en asentamientos de baja renta, ¿qué soluciones podemos aplicar? A continuación, se muestran algunas soluciones innovadoras aplicadas en zonas de baja renta en los últimos años.

#### **a) Alcantarillado condominial**

El concepto de «alcantarillado de bajo costo» o «alcantarillado condominial» nació en Brasil de la mano del ingeniero José Carlos Melo (2005) con el objetivo de viabilizar la implantación de sistemas de alcantarillado en países donde la limitación de recursos imposibilita la aplicabilidad de los sistemas convencionales.

Se trata de un sistema de alcantarillado simplificado, donde se utilizan tuberías de diámetro reducido colocadas a una profundidad y pendientes más bajas que el sistema convencional, y donde los pozos de visita son reemplazados por cámaras de inspección simples. Este sistema parte de la premisa que la red no transporte residuos sólidos y tampoco agua de lluvia, de forma que el caudal de salida es menor.

Para evitar la entrada de sólidos a la red, debe implantarse un tanque interceptor en cada vivienda, así como una caja de grasas que evite que los desechos grasos lleguen a la red, pues este tipo de residuos contribuye al desgaste y obstrucción de las tuberías (cuyo efecto se multiplica ante la ausencia de un medio líquido).

Este tipo de alcantarillado también es conocido como «alcantarillado condominial», pues mientras los sistemas convencionales prestan servicio a cada unidad de vivienda, este tipo de sistemas lo hacen a cada manzana de viviendas o cualquier grupo de viviendas que podría denominarse unidad de vecindario o «condominio». Como resultado de este nuevo concepto, la red pública ya no necesitará conectarse a cada lote de terreno ni estar presente en cada calle, sino simplemente disponer de un punto de conexión único a cada manzana urbana (Melo, 2005).

La red de bajo costo tiene como punto de desagüe una red de saneamiento convencional, de forma que su aplicabilidad se limita a regiones donde ya existe un soporte infraestructural de saneamiento próximo.

Las ventajas de este sistema son:

- Reducción de hasta el 50% de la inversión en el sistema de recolección, en comparación con el sistema convencional.
- Flexibilidad en la ejecución, lo que facilita la implantación por etapas, en función de la disponibilidad de recursos.
- Adaptación a condiciones de urbanización más complejas y desfavorables.
- Simplicidad de ejecución y operación, debido a menores profundidades, extensiones e interferencias.
- Posibilidad concreta de formar una base social, a través de la participación, la información y la organización de la comunidad.

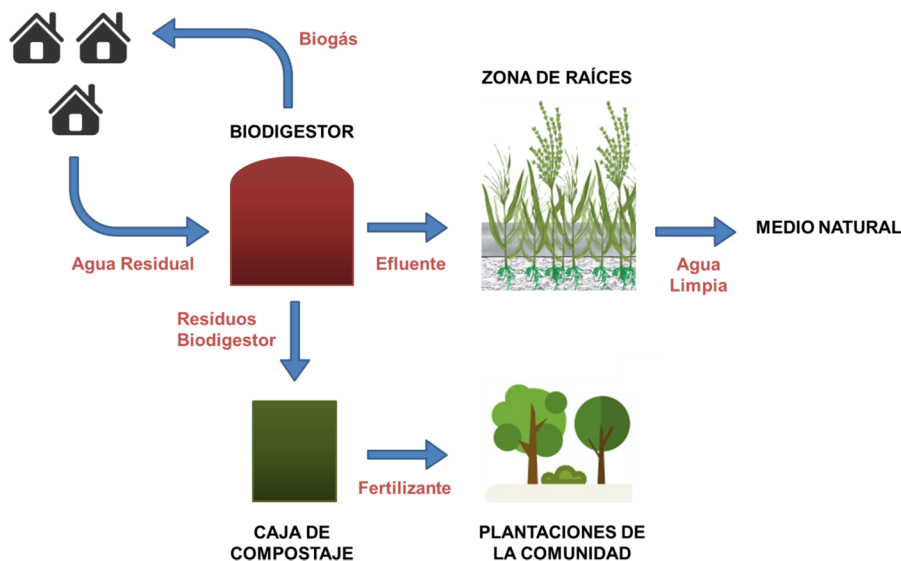
## **b) Biosistemas**

En áreas donde no existe ninguna red de saneamiento convencional principal cerca de los asentamientos poblacionales, es necesario pensar en soluciones alternativas que, además de recoger las aguas grises, permitan su tratamiento para evitar la contaminación del medio.

Una de las soluciones en este ámbito son los biosistemas, una tecnología emergente que permite el tratamiento de las aguas residuales de forma sostenible, sin productos químicos o restos de subproductos. Aunque existen múltiples soluciones para este tipo de sistemas, los elementos principales son:

- 1) Biodigestor.
- 2) Zona de raíces.
- 3) Canalizaciones para la conducción de las aguas.
- 4) Pozos o cajas de conexión/registro.
- 5) Cajas de compostaje.
- 6) Punto de vertido al medio.

Figura 28. Funcionamiento de un biosistema



Fuente: Elaboración propia.

Las aguas residuales de las unidades habitacionales son conducidas hasta el biodigestor a través de una red de canalizaciones, cuyas conexiones se realizan con cajas de registro o pozos. Como ocurre en el sistema de saneamiento convencional, deben instalarse cajas a cada cierta distancia (máximo 40-45 m) para permitir el mantenimiento y la limpieza de las canalizaciones.

El agua residual se almacena dentro del biodigestor, un dispositivo cerrado, hermético e impermeable que, gracias a la falta de oxígeno en su interior, favorece la proliferación de bacterias anaeróbicas que digieren la materia orgánica proveniente del agua residual, resultando los siguientes productos:

1) **Biogás:** fuente energética compuesta por una combinación de gases metanos ( $\text{CH}_4$ ) y gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ). Puede ser aprovechada como alternativa al gas convencional en calentadores o fogones.

Tabla 5. Generación de biogás a través del biodigestor

N.º de personas	Tamaño del biodigestor	Volumen de gas <sup>*</sup>
10	3 m <sup>3</sup>	0,5 m <sup>3</sup> /día
100	20 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup> /día
500	50 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup> /día

(\*) Una familia gasta entre 0,5 e 1,0 m<sup>3</sup> de gas por día para cocinar de forma económica.

Fuente: Viva Rio (2016).

2) **Biomasa:** es el compuesto sólido inerte resultado del proceso anaeróbico que queda depositado en el fondo del biodigestor. Para evitar la colmatación del mismo, debe ser retirado manualmente cada cierto tiempo (dependerá de la capacidad del biodigestor y de la cantidad de agua tratada) y conducido a

una caja de compostaje, donde será utilizado como base para la obtención de fertilizante. Su transformación ocurre dentro de la caja de compostaje, donde en condiciones ideales de temperatura, aireación y humedad, la acción de microorganismos presentes en los residuos promueve la degradación aerobia de este material (FAPERJ, 2017).

La retirada de biomasa para sistemas de 5 a 15 m<sup>3</sup> con capacidad para atender de 100 a 200 personas debe ser realizada de 2 a 4 años.

**3) Efluente:** agua residual que sale del biodigestor rica en nitrógeno y fósforo, que debe ser canalizada para una zona de raíces para el reciclaje de dichos nutrientes por parte de las plantas. Es importante no verter el efluente directamente en el suelo, pues la saturación del mismo por los minerales resultantes del proceso bioquímico puede ser perjudicial para la salud de medio a largo plazo.

La zona de raíces consiste en una secuencia de tanques con material filtrante compuesto por piedras de grava de diferente tamaño y plantas pantanosas. Las plantas absorben los nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y transfieren oxígeno para los efluentes. El resultado final es un agua limpia, libre de contaminantes o productos químicos, y que puede ser incorporada al medio sin riesgo de contaminación (FAPERJ, 2017).

Esta alternativa al sistema de saneamiento convencional es una solución económica (implantación de bajo coste), flexible (puede ser adaptado a distintas situaciones), con potencial energético y sostenible (permite el aprovechamiento de todos los desechos y no genera subproductos contaminantes a lo largo del proceso). Aun así, la utilización de biodigestores como parte del biosistema debe ser realizada únicamente cuando haya reaprovechamiento de la energía de la biomasa, ya que las fosas sépticas convencionales aún presentan más ventajas desde un punto de vista ambiental, pues reducen el impacto del vertido de biogás en la atmósfera.

En comparación con el coste de las fosas sépticas, los biosistemas presentan un mayor coste de implantación, pero esta diferencia se compensa con la ganancia energética producida por el biodigestor.

Figura 29. Construcción de un biodigestor en Haití



Fuente: Viva Rio (2016).

### c) Soluciones individuales: saneamiento sin red

Frente a la necesidad de soluciones alternativas para los sistemas de alcantarillado convencional, en los últimos años han surgido algunas soluciones de tipo individual que visan ser una alternativa en países en vías de desarrollo.

La primera de ellas es el **Loowatt**,<sup>2</sup> un inodoro que elimina de forma segura los desechos humanos sin la necesidad de agua, para convertirlos en electricidad (biogás) y fertilizantes. ¿Cómo funciona esta tecnología? A través de una película de polímero biodegradable, los desechos son capturados, formando a su vez una esclusa de aire que evita tanto la propagación de enfermedades como el olor. Una vez capturados, los desechos son trasladados a un biodigestor anaeróbico especializado para producir biogás, fertilizante y electricidad. Estos recursos son monetizables y generan un retorno para las comunidades donde se implanta esta tecnología.

<sup>(2)</sup>Loowatt es una empresa inglesa financiada por Innovate UK y la Fundación Bil y Melinda Gates ([www.loowatt.com](http://www.loowatt.com)).

Figura 30. Unidad de Loowatt implantada en Madagascar



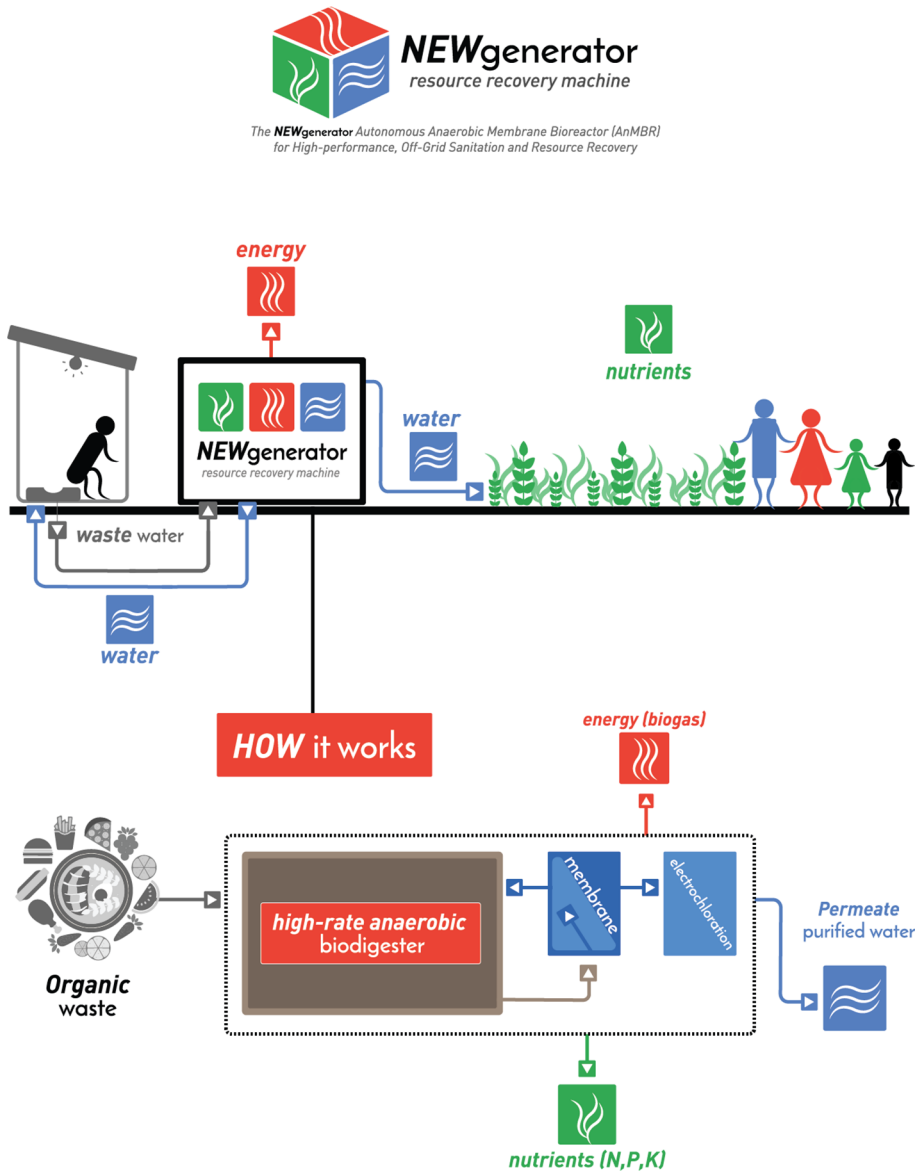
Fuente: Loowatt.

Una de las principales desventajas de este sistema es que requiere del apoyo de una empresa especializada local para la recolección de los desechos y su tratamiento, pues debe evitarse que los propios usuarios realicen esta tarea si quiere cerrarse el ciclo sostenible de esta solución y evitar posibles enfermedades por contacto con excrementos humanos.

Los inodoros Loowatt ya se han implantado en comunidades de Madagascar y Filipinas, y se calcula que 800 personas ya han utilizado esta tecnología.

La segunda solución de tratamiento autónomo de desechos humanos es el **NEWgenerator**, un dispositivo creado en 2016 por un equipo de ingenieros de la Universidad del Sur de Florida (USF) que permite generar nutrientes para fertilizantes, energía renovable y agua a partir de los desechos humanos.

Figura 31. Funcionamiento del sistema de saneamiento NEWgenerator

Fuente: [www.newgenerator.net](http://www.newgenerator.net)

Los desechos humanos son colectados y dirigidos a la primera etapa del tratamiento, un biodigestor anaeróbico donde se descomponen los sólidos y cuyo proceso genera biogás. Este proceso se realiza sin la necesidad de productos químicos o equipos de aireación. En la segunda etapa, los desechos líquidos se trasladan a otra cámara donde un filtro de membrana microscópica de poro fino elimina las bacterias, los virus y las partículas sólidas restantes. El agua efluente se desinfecta con cloro y, aunque no sea apta para consumo humano, es apta para su uso en la descarga de inodoros o riego de cultivos. Los desechos sólidos resultantes del tratamiento pueden recuperarse para uso de sus nutrientes, incluidos nitrógeno y fósforo, y ser utilizados para la fertilización de cultivos y jardines.



Todo el tratamiento de las aguas de saneamiento se realiza dentro del NEW-generator, un contenedor metálico marítimo que integra toda la tecnología descrita para este tratamiento. La energía necesaria para el funcionamiento de este sistema se obtiene a partir de placas solares implantadas en el techo del contenedor.

Figura 32.



Fuente: [www.newatlas.com](http://www.newatlas.com)

Se trata de una tecnología reciente que puede ser aplicada en áreas informales, zonas de ecoturismo o zonas remotas, escuelas, parques, zonas con emergencia sanitaria, etc.

Esta solución ya ha sido utilizada en Tampa (EUA), Trivandrum (India) y Durban<sup>3</sup> (Sudáfrica).

#### Nota

Las fugas de las letrinas y las aguas residuales sin tratar pueden propagar enfermedades y crear un foco para la proliferación de los mosquitos, además de contaminar las aguas subterráneas y de escorrentía (UN-WATER, OMS, ONU-HABITAT, 2018).

<sup>(3)</sup>En 2016, la Fundación Bil y Melinda Gates otorgaron una subvención de 1,14 millones de dólares al equipo de USF para traer dos nuevas versiones del sistema a Durban, Sudáfrica. La primera es una versión actualizada del sistema utilizado en India, diseñada para ser utilizada por 100 personas por días, mientras que la segunda apunta a aumentar esa cantidad hasta 1.000 usuarios por día. Ambos modelos se conectaron a la *community ablution blocks* (CABs), contenedores de envío marítimo que habían sido reutilizados como inodoros, duchas y lavabos. Estas instalaciones fueron instaladas por el Gobierno sudafricano para servir a las comunidades en desarrollo que anteriormente carecían de estos servicios vitales ([www.newatlas.com](http://www.newatlas.com)).

## 4. Desafíos a la penetración y oportunidades de cambio

Algunas de las tecnologías expuestas, con sus diferentes implicaciones sobre las redes de servicios, tienen sin embargo una capacidad de propagación incierta. Dependiendo de la estrategia de innovación que se aplique, del nivel de red considerado y de la capacidad de respuesta que pueda alcanzar la nueva tecnología, se puede encontrar una respuesta u otra en el mercado.

En la literatura empresarial reciente sobre evolución tecnológica aplicada, se distingue claramente entre dos tipos de **estrategia** frente a la **innovación**: los océanos rojos y los océanos azules (Chan, 2005).

La estrategia del *océano rojo* se centra en el desarrollo de aplicaciones tecnológicas que permitan mejoras infraestructurales o de gestión en una determinada infraestructura. De este modo, se consigue captar a la demanda y derrotar a la competencia en un segmento de mercado existente. El hecho de ser innovador mantiene el equilibrio valor-coste y facilita la estabilización de precios y la entrada de competidores de bajo coste.

La estrategia del *océano azul*, en cambio, busca la creación de un espacio de mercado nuevo en el que no existe competencia. Esto permite crear y captar una demanda potencial mucho mayor y desde una posición dominante. Por tanto, el equilibrio valor-coste se rompe, siendo imposible encontrar el mismo producto o servicio en otro lugar diferente.

En el caso de los servicios urbanos, es evidente que las nuevas tecnologías permiten desarrollar cada día más las infraestructuras. El nivel de sofisticación de las redes está creciendo de forma exponencial; sin embargo, su ciclo de expansión en el mercado es muy limitado. Solamente la administración pública tiende a invertir en urbanización, de modo que en períodos de crisis la innovación en mejoras infraestructurales tiene escasa aplicación por falta de clientes. Los mayores avances se dan en el campo de la gestión. Las posibilidades de control y asistencia remota facilitan el manejo de las redes. Y no solo por parte de su gestor, sino también de sus usuarios. En materia de movilidad urbana, por ejemplo, proliferan las aplicaciones para detectar estacionamientos disponibles, conocer el estado de tránsito, pagar recibos de parquímetros, localizar direcciones, etc. Todo ello contribuye sin duda a desarrollar gradualmente el mercado, pero no provoca grandes cambios en la esencia. Se podrían considerar, por tanto, incluidos en la estrategia del océano rojo, sabiendo que sus posibilidades de evolución son limitadas.

### Referencia bibliográfica

Chan, K. y Mauborgne, R. (2005). «La estrategia del océano azul». *Harvard Business School Press* (n.º18, págs. 42-59).

Otras innovaciones, en cambio, sí representan un cambio total en la forma de proceder. Y en el mundo globalizado actual tienen una repercusión global. El ferrocarril, el automóvil, la electricidad, la telefonía o las telecomunicaciones inalámbricas son redes que han generado cambios de paradigma de las sociedades, es decir, océanos azules. Evidentemente, todos los ejemplos aportados constituyen casos de redes con un alto coste de expansión y crecimiento. Son los ejemplos más visibles, sin embargo, otras innovaciones recientes también van camino de constituir una revolución a diferente escala. Las redes sociales o algunas aplicaciones móviles han cambiado totalmente la forma e intensidad con que los ciudadanos se relacionan. De hecho, aplicaciones de datos como Whatsapp están desterrando las llamadas por móvil, puesto que mantienen la inmediatez de las comunicaciones (incluso reducen el tiempo de interacción) sin coste alguno para el usuario (más que la cuota de datos fija).

Se muestra, por tanto, la primera limitación al desarrollo tecnológico. Por lo que respecta a la rentabilidad de la inversión, solo aquellos proyectos capaces de entender la lógica global de las redes podrán constituirse como catalizadores reales del cambio. El resto de innovaciones tendría probablemente un carácter efímero y una penetración en el mercado limitada.

Esa visión ha condicionado la evolución de las redes en los últimos años, donde la potestad de las mismas ha quedado relegada a compañías de servicios privadas cuyos objetivos difieren enormemente del objetivo perseguido por administraciones públicas, donde la rentabilidad de un red no se mide únicamente con elementos económicos, sino que también entran en juego los impactos sociales causados sobre la ciudadanía.

Cabe tener en cuenta que la visión privada no se preocupa por crear territorios equilibrados. Su máxima preocupación es ofrecer un servicio al usuario que sea rentable con el mínimo de coste posible. Las administraciones deben retomar las riendas del control de sus ciudades, devolver al subsuelo el carácter público que le corresponde y promover aquellas mejoras tecnológicas que, aun siendo rentablemente dudosas, proporcionen beneficios importantes sobre la población.

Por tanto, el éxito de esas innovaciones tecnológicas mencionadas dependerá en parte de la propia revolución social que puedan causar sobre la población. Y a partir de ese entendimiento, será clave el equilibrio entre inversión y mejora de calidad de vida, puesto que aquellas que se aproximen al cero, serán probablemente las que acabaran consolidándose.

El **nivel de red** es también un aspecto clave para entender la propagación de una innovación tecnológica. Herce (2002) considera la existencia de cinco niveles de red para una infraestructura: trazado, red física o de soporte, red funcional o de servicios, modo de regulación y territorialidad.

#### Referència bibliogràfica

Herce, M. y Magrinyà, F. (2002). *La ingeniería en la evolución de la urbanística*. Barcelona: UPC.

Aplicando los conceptos sobre la red de distribución urbana de agua potable de un municipio, podríamos decir que el trazado sería la localidad en cuestión, así como sus calles, plazas y parques públicos. La red física consistiría en los depósitos, tuberías, codos, bifurcaciones, etc. que conforman la red propia de la compañía. La red funcional estaría formada por los elementos relacionados con el consumo: caudal, presión y velocidad del agua, al mismo tiempo que los contadores particulares y los puntos de captación. El modo de regulación se compondría probablemente por un ente o consorcio creado por el ayuntamiento o la empresa concesionaria encargada de garantizar el servicio tanto a nivel funcional como financiero. Por último, la territorialidad representaría la población con cobertura del servicio, es decir, los ciudadanos con acceso directo al servicio de agua potable.

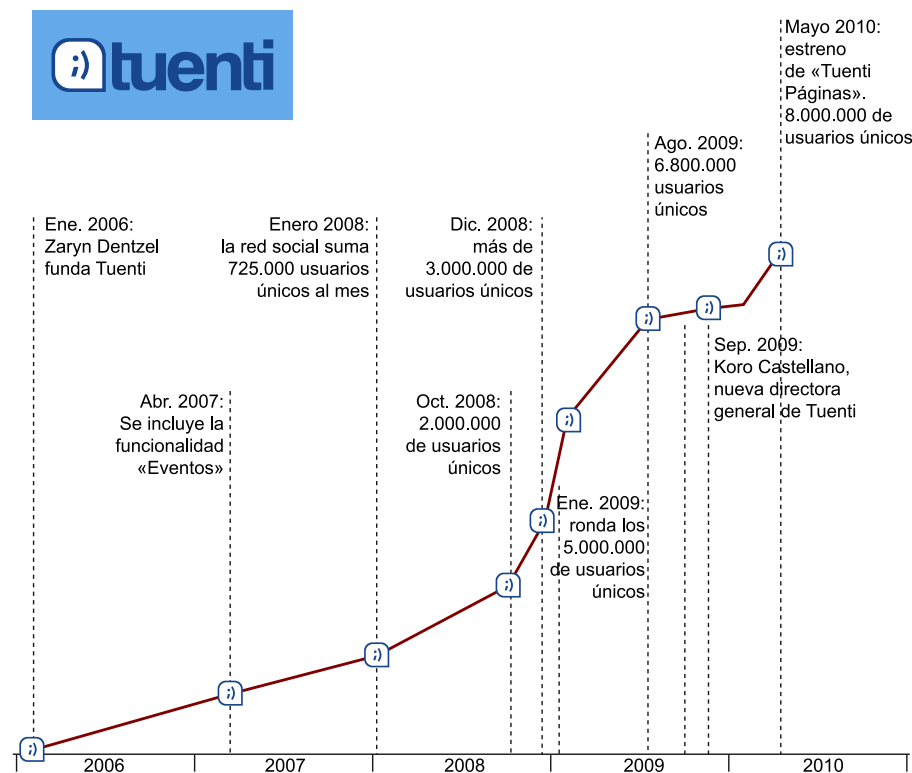
Con los conceptos claros, es evidente que una innovación tecnológica que se centre en los dos primeros niveles tendrá una dificultad de implantación clara: su coste. Por tanto, es importante que las innovaciones en materia de redes de infraestructuras urbanas busquen el equilibrio entre los cinco niveles mencionados, puesto que de ello dependerá su viabilidad de implantación y la posterior consolidación.

Existe otro parámetro que debe tenerse en cuenta al abordar el crecimiento o la aparición de una nueva red: la capacidad de respuesta. Nos referimos a las posibilidades de **evolución de la red** o, lo que es lo mismo, de la superación de las diferentes etapas de su vida. Al fin y al cabo, podemos considerar que una red nace, se desarrolla, se consolida y muere (Offner, 1993).

#### Bibliografía

Offner, J. M. (1993). «Le développement des réseaux techniques: un modèle générique». *Flux* (vol. 9, n.º 13, págs. 11-18).

Figura 33. Evolución de la compañía Tuenti

Fuente: [www.tuenti.com](http://www.tuenti.com)

El nacimiento viene marcado por una innovación tecnológica específica. Bien puede ser por patentar una tecnología o por el desarrollo de una simple aplicación informática. Lo importante es que los primeros prototipos del invento sean bien aceptados por el entorno y se cree un contingente mínimo de usuarios o clientes potenciales que justifiquen la inversión.

La segunda fase contempla la apropiación progresiva de la innovación por parte de la sociedad y facilita una extensión significativa de la red. Cuanto mayor sea la velocidad con que se acepte, más facilidades habrá para ampliar el capital inversor que se requiere para continuar el proceso.

La fase de consolidación supone la visualización de un tope en las posibilidades de crecimiento de la red en cuanto a extensión física, pero también en cuanto al número de usuarios. La consolidación puede deberse básicamente a dos causas: la imposibilidad de encontrar mayores fuentes de financiación o bien la cobertura total del segmento de mercado deseado.

En el caso de las redes de infraestructuras urbanas se hace complicado asemejar el concepto de mercado, que nace de una base económica, a población abastecida. Este «mercado» posee una serie de características que alteran completamente la «visión de negocio» que podría aplicarse al desarrollo de una nueva tecnología. Por ejemplo, en el caso de implantación de una red de alumbrado en una zona marginal, como podrían ser las favelas de las grandes co-

nurbaciones urbanas de América del Sur, la consolidación se da con el abastecimiento total de la zona, puesto que ese es el segmento de mercado de la infraestructura.

La dimensión urbana debe envolver esa visión de equidad entre territorios y desvincularse de la visión más empresarial. Las redes de infraestructuras pueden convertirse en un negocio cuando las condiciones son favorables, como sería el caso de las *smart grids*, aunque no debemos olvidar que nacieron con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y eso, muchas veces, requiere de inversiones sin rentabilidad económica alguna.

En cualquier caso, como hemos visto en el apartado anterior, las innovaciones tecnológicas en este campo caminan de la mano de modelos sostenibles que buscan la reducción de los consumos de la ciudad y, por tanto, aun no siendo soluciones 100% rentables económicamente, sí que presentan reducciones de costes de explotación importantes.

En definitiva, un buen conocimiento del funcionamiento de las redes es tan necesario como el progreso tecnológico o el entendimiento del mercado. Atender a los desafíos y superarlos es una tarea al alcance de pocos. Sin embargo, es evidente que si se consigue los resultados pueden ser impredecibles.

## Bibliografía

- Acebilló, B. et al.** (1989). «Redes de servicios urbanos». *CEUMT* (n.º 109, págs. 52-54).
- Alabert, E. y Guilemany, C.** (1987). *Implantació i coordinació dels serveis en l'execució de les obres d'urbanització*. Barcelona: Generalitat de Catalunya-Direcció General d'Urbanisme.
- Alabert, E. y Guilemany, C.** (1999). *Infraestructuras urbanas*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos.
- Almazán, D. y Rovito, G.** (2012). «Evaluación del comportamiento de los pavimentos descontaminantes». *Comunicación 27*. VII Jornada Nacional ASEFMA.
- Associació Electrònica Espanyola** (1987). *L'enllumenat públic II. Criteris d'optimització energètica*. Barcelona: Generalitat de Catalunya-Direcció General d'Energia.
- Barba, R. y Herce, M.** (1998). «Mediambient, urbanisme, ordenació del territori i paisatge». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 165-176).
- BBC** (2016, junio 29). «El cemento fluorescente mexicano que puede iluminar las carreteras del futuro». <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-36662912>> [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2019].
- Berenguer, J. y Sánchez, M.** (1998). «Les tecnologies de la informació i el mediambient». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 273-284).
- Carreras, R., Cremades, L. y Virto, L.** (1998). «L'impacte ambiental dels processos de combustió». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 209-218).
- Casas, J.** (s.d.). «Open data: información de la ciudad en abierto». Materiales de la asignatura Tecnologías para la Smart City. Universitat Oberta de Catalunya.
- Casas, J. y Melià, J.** (s.d.). «Big Data, redes sociales e inteligencia contextual». Materiales de la asignatura Herramientas para la gestión *Smart* de la ciudad. Universitat Oberta de Catalunya.
- Chan, K. y Mauborgne, R.** (2005). «La estrategia del océanoazul». *Harvard Business School Press* (n.º 18, págs. 42-59).
- Corominas, J. et al.** (1998). «Impacte ambiental de les obres públiques». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 177-185).
- Cortés, C. et al.** (2011). «Captación de energía solar térmica mediante pavimentos asfálticos». *Asfalto y Pavimentación* (vol. 1, n.º 2, págs. 11-18).
- Cusidó, J., Mañà, F. y Vázquez** 1998 «Construcció i mediambient». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 141-152).
- Duran, R. et al.** (2010). «Car-based mobility redefinition in low-density areas». *16th International Road Federation World Meeting*. Lisboa: International Road Federation.
- FAPERJ** (2017). *Biosistema: uma saída sustentável para tratar esgoto em favelas*. <<http://faperj.br/?id=3346.2.4>> [Fecha de consulta: 13 de octubre de 2019].
- Faraldo, M.** (2012). «Guía práctica de la fotocatalisis aplicada a infraestructuras urbanas». Congreso Nacional del Medio Ambiente – CONAMA 2012.
- Goedkoop, M. J.** (1995). *Manual Simapro 3*. Delft: Pré Consultants-Delft University.
- Gualda, J. A. y Tolosa, J. A.** (2012). «Alumbrado público: ¿VSAP o LED?». *Equipamiento y servicios municipales* (n.º 159, págs. 60-72).
- Guerrini, G., Crespo, R. y Jurado, R.** (2017). «Uso de cementos fotocatalíticos para vías urbanas con altos volúmenes de tránsito». *Revista Obras Urbanas* (n.º 61, págs. 24-31).
- Herce, M. et al.** (2011). *Infraestructuras y medioambiente*. Barcelona: UOC.
- Herce, M. y Magrinyà, F.** (2002). *La ingeniería en la evolución de la urbanística*. Barcelona: UPC.

**Herce, M., Magrinyà, F. y Miró, J.** (2004). *Construcció de ciutat i xarxes d'infraestructures*. Edicions UPC.

**Howard, B. et al.** (2012). «Spatial distribution of urban building energy consumption by enduse». *Energy and Buildings* (vol. 45, págs. 141-151).

**IDAE** (2011). *Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

**IGME e IDAE** (2008). *Manual de geotermia*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

**IDEA** (2005). *IDEA Report: the district energy industry*. Westborough: International District Energy Association.

**Julio** (2015, noviembre 15). «Desarrollan un hormigón descontaminante». *Conciencia Eco*. <<https://www.concienciaeco.com/2015/11/20/hormigon-descontaminante/>> [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2019].

«La brecha digital: el problema del acceso a Internet» (2013, octubre 29). *Diseño social*. <<https://disenosocial.org/la-brecha-digital-el-problema-del-acceso-a-la-internet/>> [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2019].

**Martínez, M.** (2016). «Reducir la contaminación de las ciudades con jardines en sus azoteas». *Ferrovial blog*. <<https://blog.ferrovial.com/es/2016/03/jardines-en-azoteas-para-reducir-la-contaminacion-de-las-ciudades/>> [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2019].

**Martínez, L., Montserrat, J. y Puigjaner, Ll.** (1998). «Energía i mediambient». En: Torres, A. y Capdevila, I. (1998). *Mediambient i tecnologia*. Barcelona: UPC (págs. 101-126).

**Melo, J. C.** (2005). *La experiencia de los sistemas de agua y alcantarillado condominiales en Brasil. Estudios de casos de Brasilia, Salvador y Parauapebas*. Lima: Banco Mundial.

**Mendoza, J. J. y Caldera, J.** (2014). «Umbral para la determinación de la brecha digital: comparativa entre regiones desarrolladas». *TransInforção* (vol. 26, n.º 2, págs. 125-132).

**Montón, M.** (s.d.). «Infraestructura tecnológica: IoT y M2M». Materiales de la asignatura Tecnologías para la *Smart City*. Universitat Oberta de Catalunya.

**Montón, M.** (s.d.). «Métricas y optimización para la *Smart City*». Materiales de la asignatura Herramientas para la gestión *Smart* de la ciudad. Universitat Oberta de Catalunya.

**Montón, M.** (s.d.). «*Smart City* 'en la nube'». Materiales de la asignatura Herramientas para la gestión *Smart* de la ciudad. Universitat Oberta de Catalunya.

**Offner, J. M.** (1993). «Le développement des réseaux techniques: un modèle générique». *Flux* (vol. 9, n.º 13, págs. 11-18).

**Pacheco-Rivas, I.** (2017). «Beneficios, funcionamiento y cómo construir un techo verde». *Abouthaus*. <<https://about-haus.com/beneficios-construir-un-techo-verde/>> [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2019].

**Rissoli, C. A., Dieter, K. y Feltosa, M.** (2017). *Sistemas de alcantarillado condominial. Conceptos y metodologías*. Managua: COSUDE.

**Rodríguez, A.** (2016). «El cemento capaz de absorber la luz y brillar por la noche». *Blogthinkbig*. <<https://blogthinkbig.com/el-cemento-capaz-de-absorber-la-luz-y-brillar-por-la-noche/>> [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2019].

**Romero, M. et al.** (2004). «Indicadores de sustentabilidade dos espaços públicos urbanos: aspectos metodológicos e atributos das estruturas urbanas». *A questão ambiental: experiências e perspectivas*. <<http://unuhoopedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/viewFile/2689/2629>>. [Fecha de consulta: 28 de agosto de 2015].

«Techos verdes, una bocanada de oxígeno para la Ciudad de México» (2018, agosto 5). *Paisajismo digital*. <<https://paisajismodigital.com/blog/techos-verdes-ciudad-de-mexico/>> [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2019].

«Tipos de cubiertas: detalles constructivos» (s.d.). *Cubiertas Verdes*. <<https://cubiertasverdesmedios.wordpress.com/sistemas/detalles-constructivos/>> [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2019].



**UNWATER, OMS, ONU-HABITAT** (2018). *Agua limpia y saneamiento. Progresos en el tratamiento de las aguas residuales. Prueba piloto de la metodología de monitoreo y primeras constataciones sobre el indicador 6.3.1 de los ODS*. Suiza: ONU-HABITAT.

**Veja-Almeida, R.** (2007). «Brecha digital: um problema multidimensional de la sociedad emergente». *Inclusão Social* (vol. 2, n.º 2, págs. 96-108).

**Viva Rio** (2016). *Biodigestores*. Río de Janeiro: Coleção TSRio.

**WWAP; UNESCO - Guy, R.** (dir.) (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017 – Aguas residuales: el recurso no explotado*. UNESCO.

