

---

# Ciudad ecosistema

---

PID\_00272064

Jacob Cirera  
Marc Montlleó  
Oriol Suñé

---

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 4 horas

---



Universitat  
Oberta  
de Catalunya

**Jacob Cirera**

Licenciado en Ciencias Ambientales por la Universidad de Girona y máster en Aplicación de los sistemas de información geográfica y la teledetección a la gestión del territorio, por el Instituto Catalán de Tecnología. Su experiencia laboral, en las empresas TECNOMA, Barcelona Regional y actualmente el Servicio de redacción del PDU del Área Metropolitana de Barcelona (AMB) se ha centrado en el tratamiento de los aspectos ambientales en el planeamiento urbanístico, y en especial en aquellos relacionados con la evaluación ambiental estratégica, el verde urbano, el medio natural y el metabolismo urbano. Ejerce de docente en la UOC, en el máster Ciudad y Urbanismo, especialización Ciudad y territorios sostenibles.

**Marc Montlleó**

Biólogo por la Universidad de Barcelona (UB), máster de Ingeniería ambiental (ICT y UPC). Es director técnico y de proyectos ambientales de la empresa pública Barcelona Regional, donde ha participado en diferentes estudios, entre los que destacan la coordinación de la evaluación ambiental estratégica del Plan territorial de la región metropolitana de Barcelona, la recuperación del tramo final del río Besòs, las directrices ambientales del Ecobarrio de Vallbona y la redacción de informes ambientales de la ciudad de Barcelona. También ha coordinado los trabajos del Plan de sostenibilidad ambiental del área metropolitana de Barcelona, y ha participado en el Plan estratégico metropolitano. En la UOC es profesor de *Medio ambiente y sostenibilidad urbana* en los programas de Ciudad y Urbanismo, y ha sido profesor del curso de *Medio ambiente y calidad de vida* del máster de Gestión de la ciudad.

**Oriol Suñé**

Licenciado en Ciencias Ambientales por The University of Wolverhampton y por la Universidad de Barcelona y MBA por la EAE Business School. Tiene Posgrado en Estrategias para la Gestión forestal sostenible de los bosques. Actualmente es consultor de Proyectos Ambientales en FL Environment.

La revisión de este recurso de aprendizaje UOC ha sido coordinada por las profesoras: Mirela Fiori, Mar Satorras Grau

Cuarta edición: marzo 2021

© de esta edición, Fundació Universitat Oberta de Catalunya (FUOC)

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Autoría: Jacob Cirera, Marc Montlleó, Oriol Suñé

Producción: FUOC



Los textos e imágenes publicados en esta obra están sujetos –excepto que se indique lo contrario– a una licencia Creative Commons de tipo Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0. Se puede copiar, distribuir y transmitir la obra públicamente siempre que se cite el autor y la fuente (Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya), no se haga un uso comercial y ni obra derivada de la misma. La licencia completa se puede consultar en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

# Índice

<b>1. La ciudad como ecosistema y el metabolismo urbano.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Desafíos y disfunciones en un periodo de crisis.....</b>	<b>8</b>
<b>3. La gestión de los residuos urbanos.....</b>	<b>11</b>
3.1. Métodos avanzados de recogida y tratamiento de residuos .....	15
3.1.1. Sistemas de recogida selectiva .....	15
3.1.2. Plantas de tratamiento específico .....	17
3.2. Problemática en la gestión de residuos .....	20
<b>4. El ciclo del agua.....</b>	<b>21</b>
4.1. Su problemática .....	21
4.2. Mejoras en la eficacia del ciclo del agua .....	26
4.2.1. Actuación sobre los ecosistemas acuáticos .....	26
4.2.2. Incremento de la eficiencia de los sistemas de abastecimiento y distribución .....	27
4.2.3. Reducción de la demanda doméstica .....	28
4.2.4. Aguas regeneradas .....	30
4.2.5. Utilización de aguas subterráneas .....	30
4.2.6. Obtención de agua potable a partir de desalación .....	31
4.2.7. La depuración de agua residual .....	32
<b>5. Eficiencia y racionalización de la energía.....</b>	<b>33</b>
5.1. El consumo de energía .....	33
5.2. Transformación/producción de energía .....	33
5.2.1. Fuentes de energía .....	35
5.2.2. Generación local de energía .....	36
5.3. La eficiencia energética en los centros urbanos .....	39
<b>6. El tratamiento del metabolismo urbano.....</b>	<b>43</b>
6.1. El concepto de metabolismo urbano .....	44
6.2. Aproximaciones metodológicas al metabolismo urbano .....	46
<b>Bibliografía.....</b>	<b>49</b>



## 1. La ciudad como ecosistema y el metabolismo urbano

La ciudad constituye un fenómeno complejo que se puede abordar desde muchas perspectivas, sin que ninguna de ellas por sí sola pueda dar una comprensión integral del problema urbano.

La ciudad, al igual que los ecosistemas, desde el punto de vista termodinámico, son sistemas alejados del equilibrio que se autoorganizan provocando incrementos en la entropía del medio que les rodea. Es decir, extraen energía de este medio para disiparla en formas no aprovechables como calor, gases, etc. Por esto, se las puede considerar estructuras de disipación. De la misma manera, necesitan importar del medio natural materiales que retornan al medio en forma de sustancias y partículas no aprovechables.

Sin pretender ninguna reducción científica, concretamente biológica, de un fenómeno tan complejo como es el urbano, la ciudad se puede considerar como un sistema ecológico, es decir, un conjunto de elementos de tal modo relacionados e interdependientes que constituyen un todo orgánico. Esta idea de la ciudad como ecosistema, aunque se ha desarrollado a partir de los años setenta y ochenta, se inicia con la Escuela de Chicago en los años veinte. R. E. Park, Dewey, James, Simmel, entre otros, formaron el núcleo de la escuela de sociología de Chicago que abrió paso a los estudios de ecología humana<sup>1</sup>.

En efecto la ciudad se la puede considerar como un ecosistema, de hecho un sistema ecológico abierto, básicamente heterotrófico, es decir, que depende de la producción primaria de otros sistemas (por ejemplo, el mundo rural).

Cuando se consumen grandes cantidades de energía y materiales, como sucede en las grandes ciudades, el retorno al medio de los materiales disipados disminuye la calidad de los vectores implicados (la calidad de las aguas, la contaminación del suelo y del aire, la degradación de los bosques, la pérdida de biodiversidad...) por los problemas de contaminación.

Así pues, toda ciudad presenta unos flujos de entrada y salida de materiales y energía distinta. A este conjunto de entradas de materiales y energía, los posteriores procesos internos de transformación y las consecuentes salidas de materiales y contaminantes es lo que conocemos como el metabolismo de la ciudad.

Esta aproximación del fenómeno urbano, desde el punto de vista de la ecología, es relativamente reciente. Quizás los primeros estudios con estas consideraciones sean los de la ciudad de Bruselas del año 1977 y de Hong Kong del

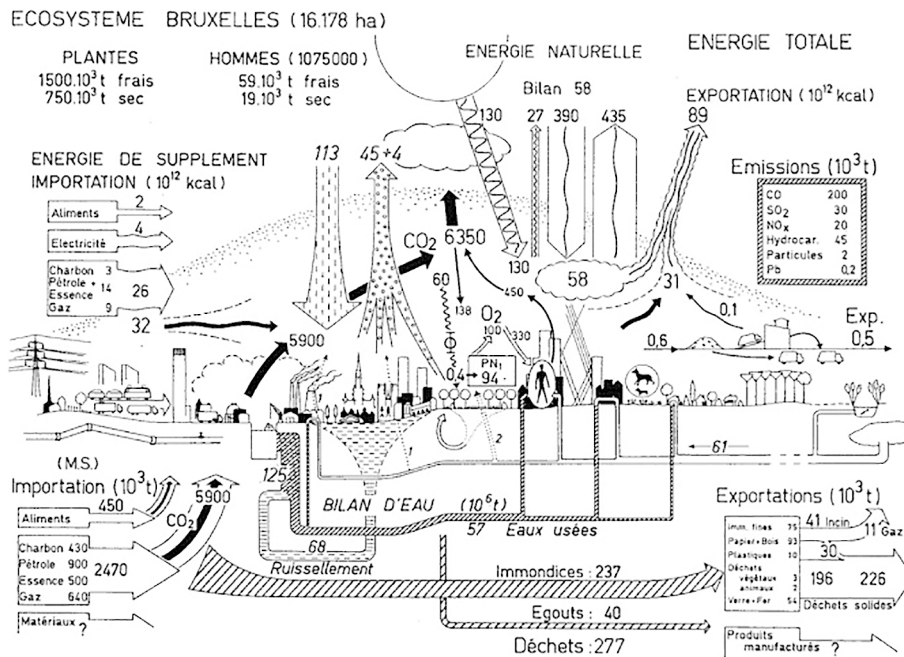
<sup>(1)</sup>En el libro **Erza Park, R. (1999). *La ciudad y otros ensayos de ecología urbana*. Barcelona: Ed. Del Serbal**, se pueden encontrar diferentes artículos de los inicios de la ecología humana.

### Referencia bibliográfica

**Erza Park, R. (1999). *La ciudad y otros ensayos de ecología urbana*. Barcelona: Ed. Del Serbal.**

año 1981. Asimismo, el caso de la ciudad de Barcelona es remarcable, donde el profesor Jaume Terradas y su equipo, en 1985, establecerían el mapa ecológico de Barcelona.

Ecosistema urbano de Bruselas



Referencia bibliográfica

S. Boyden; S. Millor; K. Newcombe; B. O'Neill (1981). *The ecology of a city and its people: the case of Hong Kong*.  
 P. Duvigneaud; S. Denayer - De Smet (1977). *L'Ecosystème Urbain*.

Referencia bibliográfica

Terradas, J.; Burriel J. A. (2001). *Mapa ecològic de Barcelona*. In Castells E., Terradas J. (eds) *Aula d'Ecologia. Cicles de conferències 1999 i 2000*. Servei de Publicacions, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, p. 145-148.

Desde este enfoque de ecosistema, las urbes dependen de los flujos de materia y energía que prevén tanto el metabolismo endosómico (los materiales y energía que consumimos) como el exosómico (los materiales y la energía que se utilizan, por ejemplo, para hacer viviendas, para el transporte, para los servicios, etc.). Una vez metabolizados, materiales y energía, parte de ellos se dispersan y parte vuelven al medio, pero con una pérdida de calidad (residuos), provocando problemas de contaminación en el entorno.

El metabolismo urbano concluye en un balance negativo de energía con su entorno.

Por tanto, las ciudades son sistemas que para mantenerse organizados necesitan, en términos ecológicos, otros sistemas que les proporcionen alimentos, agua, energía y materiales. Estas grandes cantidades de materiales metabolizados son después dispersados en forma de residuos, o contaminantes por el aire y por el agua, llegando a afectar a un territorio muy amplio, más allá de los límites de la ciudad.

Las primeras ciudades dependían mucho de los alimentos y recursos hidrológicos de su entorno próximo. Pero las actuales grandes ciudades y metrópolis dependen de fuentes muy alejadas incluso para el suministro de alimentos y

productos básicos. El caso de la ciudad de Los Ángeles, en donde buena parte del suministro de agua potable procede del río Colorado, a casi 1.000 kilómetros de distancia, puede ser un buen ejemplo de ello.

Hay infinidad de casos: Ciudad de México, donde se extraen recursos hídricos muy alejados y profundos; o Beijing, ciudad con graves problemas de abastecimiento de agua que ha ejecutado ya el trasvase de agua más grande del mundo, extrayendo agua desde el río Iang-Tsé, a más de 1.200 kilómetros.

En cuanto a emisiones hay que recordar que, a pesar de que las zonas urbanas ocupan tan solo un 1 % de la superficie de la Tierra, representan más del 70 % de las emisiones de carbono.

Pero el metabolismo urbano no solo puede ser analizado en términos de flujos (*inputs* y *outputs* sobre el entorno). Además, las urbes disponen de un gran paquete de información cultural, organizada de diferentes maneras, que es difícil de medir y en el que descansa buena parte de su capacidad evolutiva. Esto nos lleva a considerar la complejidad de los sistemas urbanos debido a la cantidad de información que disponen las personas y sus organizaciones, información que atesoran de forma dinámica en el tiempo, y que son un indicador de diversidad como concepto ecológico.

El metabolismo hace descansar su capacidad evolutiva en la generación de información.

## 2. Desafíos y disfunciones en un periodo de crisis

En la actualidad, estamos inmersos en un cambio profundo de nuestra civilización, pasando de la sociedad industrial a la sociedad de la información o del conocimiento, en lo que podíamos denominar un período de crisis (crisis en el sentido de cambio profundo).

Hace más de seis mil años, los avances de las primeras culturas, en la cuenca del Éufrates, permitió, gracias a las técnicas de irrigación, la creación de las primeras ciudades. De esta manera, la humanidad dejaba atrás el neolítico y las civilizaciones nómadas, empezando un nuevo tipo de vida basada en la agricultura, pasando a un nuevo modelo de sociedad eminentemente agrícola, con el denominador común de dependencia del sector primario, pero regida desde concentraciones urbanas.

Unos cuantos miles de años mas tarde, en el siglo XVIII, en Inglaterra, aparece la segunda gran revolución. De hecho, desde el Renacimiento, se empieza a gestar un profundo cambio social, técnico y científico que, a principios del siglo XIX, desembocará en la Revolución Industrial, caracterizada por el uso de los combustibles fósiles. Esto comportará, primero en Europa y después en todo el mundo, el inicio del declive de las antiguas sociedades agrarias; la modernización tecnológica llegó a la agricultura desde las ciudades, con el resultado de un importante aumento de la productividad y una mayor disponibilidad global de alimentos.

Esta nueva etapa de la humanidad no se lleva a cabo de una manera pacífica; esto queda demostrado, por ejemplo, en la persecución que sufrirán los científicos, y, sobre todo, en los enfrentamientos entre los sectores más conservadores, como los poderes religiosos depositarios de la ortodoxia ideológica ante el irresistible crecimiento del pensamiento racional científico.

Pero este nuevo pensamiento (modernidad) establece sus vínculos con la naturaleza desde una posición de prepotencia, sobre un cierto estado de euforia basado en que los avances científicos y las nuevas tecnologías tendrían soluciones para todos los problemas. Esta línea de pensamiento nos ha llevado, hasta hace pocas décadas, a pensar que el planeta y los recursos no tenían límites especialmente en el uso y disponibilidad de la energía.

La modernidad como momento de *euphoria* respecto a la tecnología. La inconsciencia de los límites.



El crecimiento de las primeras ciudades industriales necesitó el desarrollo de las comunicaciones, en una primera etapa ferroviaria, y más tarde de las carreteras. Esta es una pieza clave para favorecer la concentración de las grandes fábricas que se instalaban en las ciudades y producían una atracción de la mano de obra rural. Todo ello conllevó una serie de consecuencias como la monetarización de la economía, la expansión sin límites de la producción industrial y agrícola y, en especial, un crecimiento demográfico debido a la reducción de la mortalidad (sobre todo, la infantil) por la mejora de las condiciones de vida.

Pero el fenómeno de progresión geométrica en la concentración urbana de la población es relativamente reciente. Si en 1950 se estimaba que eran unos 750 millones de personas las personas que vivían en zonas urbanizadas, en el año 2000 esta cifra se había multiplicado por cuatro y actualmente, como ya se ha comentado, la población urbana es de 4.300 millones de personas, el 55 % del total de la población mundial.

No parece que el crecimiento de las ciudades, o mejor dicho, de las aglomeraciones urbanas, vaya a disminuir, y, lo que es más relevante: el ratio de población urbana a población total, en las zonas más desarrolladas del planeta, ya supera el 80 %.

Con todo, más allá de las cifras, es una convicción profunda que las ciudades constituyen una forma de organización creativa. Las zonas urbanas son y han sido los centros de la evolución de la civilización moderna; han generado el poder económico y político sobre el que se han basado los imperios, y siguen siéndolo. Las metrópolis y ciudades compiten entre ellas para conseguir un papel relevante dentro del concierto internacional.

Desgraciadamente, las estrategias que utilizan las aglomeraciones urbanas están basadas en un aumento creciente del uso de los recursos y de la energía con un impacto cada vez mayor en los recursos y el medio ambiente del planeta.

Asimismo, se detectan cambios en el proceso de urbanización, ya de por sí insostenible, que conllevan nuevos problemas o amenazan con llevarlos a situaciones críticas. Mientras la emigración a las primeras grandes megalópolis se debió a la atracción que estas ejercían, en la actualidad se debe más a la falta de oportunidades del mundo rural. En la mayoría de los países en vías de desarrollo, este flujo desde las áreas rurales supera la capacidad de las ciudades para proporcionar lugares de trabajo, viviendas, agua, luz, alcantarillas y servicios sociales, dando origen a asentamientos marginales, con condiciones infrahumanas y, en definitiva, a un incremento de la insalubridad y de los problemas de convivencia social.

La demanda excesiva de materiales y energía, a veces a miles de kilómetros de las ciudades y la emisión de los contaminantes posteriores, conducen a una multitud de disfunciones que hacen que, hoy en día, las grandes conurbaciones sean los sistemas que mayor impacto provocan en el planeta. Incluso los

impactos globales que se derivan de la actividad humana y que afectan a la Tierra –cambio climático, desertificación, pérdida de biodiversidad, contaminación de las aguas, agotamiento de las energías fósiles, etc.– tienen su origen (muchos de ellos) en los modelos de producción y gestión de las ciudades.

### El impacto de las megalópolis en el cambio climático.

La aplicación de estos criterios de planificación basados en la especialización funcional del territorio, que han regido la urbanización desde las teorías del movimiento moderno, han llevado al colapso a las grandes ciudades, aparte de desproveerlas de la característica de «civis» (de mezcla de usos y actividades) que propició su formación.

Estos criterios de planificación basados en agrupar las mismas funcionalidades significan que las siguientes áreas: vivienda, zonas comerciales, universidades, espacios verdes, industria, áreas de negocios, están separadas entre sí y unidas por grandes vías de comunicación. Ello implica un enorme consumo de tiempo y energía solo por desplazamientos forzados por ese modelo de ocupación del territorio. La ciudad pierde flexibilidad y hace que no sea capaz de funcionar como una unidad orgánica eficiente y dinámica.

Además, muchas de las soluciones que se adoptan para mejorar la movilidad y la relación entre los diferentes subsistemas de estas modernas urbes, solamente mejoran las condiciones a corto plazo, disminuyendo los tiempos de comunicación interna de las megalópolis; a largo plazo, supone un colapso para la ciudad, ya que no solo se malbarata energía, sino que la velocidad de comunicación entre distancias cortas se basa, exclusivamente, en la utilización de los vehículos privados. El caso de las ciudades estadounidenses y algunas europeas es paradigmático, puesto que se utiliza el vehículo para cualquier actividad cotidiana.

Además, la distribución de la población se jerarquiza a causa de las condiciones socioeconómicas, de tal modo que se crean espacios exclusivos según el nivel adquisitivo y social. Tal cosa va en contra del origen de las ciudades como crisol de la diversidad cultural. A ello se une un fenómeno consustancial al incremento del ámbito de influencia de la ciudad, de su tamaño, que es la ocupación urbana en baja densidad, la cual incrementa el coste de los servicios, aísla a la población y hace difícil una respuesta adecuada desde los requerimientos de la atención social a los ciudadanos.

### 3. La gestión de los residuos urbanos

La gestión de los residuos es uno de los grandes problemas medioambientales del planeta y uno de los grandes retos de los sistemas urbanos. Actualmente, 3.000 millones de personas en el mundo carecen de acceso a instalaciones controladas de eliminación de residuos. La gestión de residuos está estrechamente relacionada con la contaminación atmosférica y el cambio climático, con la contaminación de suelos, océanos y, por lo tanto, con la salud de muchas especies, incluida la humana, así como con el agotamiento y la escasez de recursos naturales.

La generación global de residuos se estima entre 7.000 y 10.000 millones de toneladas anuales, y debido al aumento de población, la urbanización y el consumo, se prevé que solamente en las ciudades de África y Asia se doblará el volumen de residuos para el 2030<sup>2</sup>.

<sup>(2)</sup>Global Waste Management Outlook publicado por el Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA) y la International Solid Waste Association (ISWA).

El metabolismo urbano juega un papel muy importante en este contexto, debido a que más del 50 % de la población mundial vive en ciudades y sistemas urbanos, y se prevé que este porcentaje aumente en las próximas décadas.

#### 1) Consumo circular

El consumo es uno de los factores más importantes en la generación de residuos. El potencial de crecimiento de este consumo a nivel mundial supone una amenaza y un reto a la vez para la gestión de los residuos urbanos. Actualmente se impone un modelo de consumo lineal, donde se consumen productos fabricados por materias primas extraídas de los recursos naturales, y se desechan los productos como residuos al final de su vida útil.

El modelo de consumo circular –o modelo de economía circular– es un modelo de consumo alternativo al lineal que se está empezando a aplicar en algunas ciudades y comunidades. Este modelo sostiene que los productos deben alargar al máximo su vida útil y ser reciclados al final de esta para ser incorporados de vuelta como materia prima en la fabricación de productos, en lugar de desechados como residuos. De esta manera se consigue reducir significativamente tanto la cantidad de residuos como el consumo de materias primas.

Para llevar a cabo este cambio de modelo económico y de consumo, debe actuarse sobre todo en el diseño y la producción de los productos, de tal modo que se facilite tanto su consumo como su posterior gestión de residuos y reintroducción en el ciclo productivo como nuevo recurso.

#### 2) Análisis del ciclo de vida

Una de las herramientas más valiosas en la gestión de residuos es el análisis del ciclo de vida de los productos. Esta herramienta permite identificar y evaluar los principales impactos ambientales, económicos y sociales asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto, proceso o actividad. Consiste en analizar todo un ciclo de producto desde su fabricación hasta su desecho, detallando por fases o procesos todas las entradas y salidas de materiales, recursos naturales, energía, residuos, gases, vertidos, etcétera. Este detalle permite plantear distintas soluciones o cambios para minimizar los impactos ambientales del producto.

Los últimos informes de las Naciones Unidas para el medio ambiente hablan de sustituir el concepto de **gestión de residuos** por el de **gestión de recursos**, dando mucha importancia al valor de los materiales desechados una vez llegados al final de su vida útil como un producto determinado.

### 3) Diseño sostenible

Algunas industrias ya han empezado a tomar decisiones no solo sobre la repercusión medioambiental que tienen sus actividades de fabricación, logística y venta de sus productos, sino también en el diseño de sus productos para conseguir un reciclaje sostenible y eficiente una vez finalizada la vida útil de sus productos.

Este diseño sostenible y ambiental de los productos se ha convertido en el gran reto de la industria y la sociedad de consumo para solucionar el problema de los residuos desde su origen. Fabricar productos que sean fácilmente reutilizables y reciclables, y que no contengan materiales dañinos para el medio ambiente, es el principio del cambio de modelo de economía de consumo lineal a modelo de economía de consumo circular.

La legislación ambiental, así como las políticas fiscales y de inversión pública en proyectos de economía circular, son otras de las medidas que favorecen el cambio de modelo de consumo de lineal a consumo circular.

#### **Ejemplo de economía circular en la ciudad de Mataró**

Mataró es sede de un centro de economía circular pionero al sur de Europa en una parcela de 18.000 m<sup>2</sup>, con un presupuesto de cinco millones de euros destinados a economía circular. Un bien para la sostenibilidad, y una oportunidad de negocio que en este caso está centrada en la recuperación de residuos. Un nuevo modelo económico con el objetivo de crear empresas público-privadas relacionadas con el reciclaje y la recuperación de materiales. El espacio Refer tiene zonas dedicadas a la ciudadanía, como por ejemplo servicios de autorreparación, formación, talleres de mantenimiento y reutilización de residuos voluminosos. Uno de los objetivos del proyecto Maresme Circular es, precisamente, la integración de sectores desfavorecidos en los nuevos puestos de trabajo convirtiéndose en un polo de innovación tecnológico en materias de sostenibilidad, además de la planta de reciclaje y reparación de voluminosos, con servicios como el asesoramiento para la autorreparación de productos informáticos, electrónicos, bicicletas, carpintería, muebles, textil, bricolaje, etcétera. En este sentido, imparte de talleres de formación en mantenimiento y preparación para la reutilización. Maresme Circular comparte espacio con una tienda de segunda mano ideada para promover el intercambio, y un lugar común donde se imparten cursos de concienciación, actividades contra el desperdicio de alimentos, huertos públicos, autocompostaje y actividades de prevención de residuos.

#### 4) Sistemas integrados de gestión

La Unión Europea sostiene directivas legislativas sobre la gestión de algunos residuos específicos, como son los residuos eléctricos y electrónicos, donde se obliga a los fabricantes de estos productos a hacerse cargo de los costes de la recogida y el tratamiento de los residuos de los productos que ponen en el mercado. Los fabricantes crean los llamados sistemas integrales de gestión, que mediante acuerdos con distribuidores finales de sus productos, plantas de reciclaje, empresas de recogida y organismos públicos como Ayuntamientos u otras administraciones, asumen los costes de la recogida y el tratamiento de sus productos desechados. La directiva los obliga a gestionar un porcentaje anual del total de la cantidad de productos que ponen en el mercado. Estas directivas europeas, traspuestas y desarrolladas como leyes por los países miembros, emanan de la Directiva europea de responsabilidad ambiental<sup>3</sup> y del principio medioambiental contaminador-pagador, conocido como «quien contamina paga».

<sup>(3)</sup>Directiva 2004/35/CE sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales.

#### 5) Las 3R: reducir, reutilizar y reciclar

Cabe recordar que el mejor residuo es el que no se produce. Esto que parece una obviedad es lo que se postula como el principio de las tres erres: reducir, reutilizar y reciclar. Son las tres acciones que se aconsejan en la gestión de residuos en este mismo orden. En este sentido, el reciclaje –aun siendo bueno– es la peor de las opciones, pues la reducción y la reutilización de un residuo suponen un coste ambiental muy bajo; en cambio, el reciclaje frecuentemente mantiene costes ambientales importantes asociados al transporte y al tratamiento del residuo.

Los sistemas urbanos tienen la necesidad y responsabilidad de ofrecer una gestión de residuos dado el volumen de estos que se concentra en su hábitat. Sea como sea, esta gestión de residuos será determinante para obtener unos resultados más o menos sostenibles.

Tabla de generación de residuos en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB) con una población de 3.260.268 habitantes (el 42,90 % de Cataluña) en el año 2018

	<b>Toneladas generadas Área Metropolitana de Barcelona 2018</b>	<b>Porcentaje sobre el total de residuos generados</b>	<b>Porcentaje sobre el total en Cataluña</b>
Vidrio	63.770,14	4,22 %	29,27 %
Papel y cartón	92.042,31	6,10 %	33,20 %
Envases	48.433,82	3,21 %	30,43 %
Materia orgánica	169.180,08	11,21 %	41,48 %
Voluminosos	75.831,46	5,02 %	30,46 %

Datos de la Agencia de Residuos de Cataluña

	<b>Toneladas generadas Área Metropolitana de Barcelona 2018</b>	<b>Porcentaje sobre el total de residuos generados</b>	<b>Porcentaje sobre el total en Cataluña</b>
Residuos recogidos selectivamente en puntos verdes	95.646,24	6,34 %	28,25 %
Resto	964.562,53	63,90 %	41,64 %
<b>Total</b>	<b>1.509.466,58</b>	<b>100,00 %</b>	<b>37,95 %</b>

Datos de la Agencia de Residuos de Cataluña

Esto significa que con el 36,10 % de recogida selectiva sobre el total de los residuos generados en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), aún se está muy lejos de los objetivos de las directivas europeas en cuanto al porcentaje de recogida selectiva, marcados en el 55 % de los residuos urbanos en 2025, el 60 % en 2030 y el 65 % en 2035.

Para conseguir estos objetivos, es necesario cambiar algunos modelos de consumo y algunos sistemas de gestión de residuos.

#### **Informe del Banco Mundial *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050***

Según el informe del Banco Mundial titulado *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, si no se adoptan medidas urgentes, para 2050 los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % con respecto a los niveles actuales. En el informe se prevé que en el curso de los próximos treinta años la generación de residuos a nivel mundial, impulsada por la rápida urbanización y el crecimiento de las poblaciones, aumentará de 2.010 millones de toneladas registradas en 2016 a 3.400 millones. Los países desarrollados, si bien representan el 16 % de la población mundial, generan más de un tercio (34 %) de los residuos del mundo. La región de Asia oriental y el Pacífico genera casi un cuarto (23 %) del total. Asimismo, se espera que para 2050 la generación de residuos en las regiones de África al sur del Sáhara y Asia meridional se triplique y se duplique con creces, respectivamente. Los plásticos son especialmente problemáticos. Si no se recogen y gestionan adecuadamente, contaminarán y afectarán a los cursos de aguas y los ecosistemas no durante cientos, sino durante miles de años. Según el informe, en 2016 se generaron en el mundo 242 millones de toneladas de residuos de plástico, que representan el 12 % del total de los residuos sólidos. En *What a Waste 2.0* se subraya que la gestión de los residuos sólidos, a pesar de que constituye un elemento esencial de las ciudades sostenibles, sanas e inclusivas, suele pasarse por alto, sobre todo en los países pobres. Mientras que en los países de ricos se recupera más de un tercio de los residuos por medio del reciclaje y el compostaje, en los países en vías de desarrollo solo se recicla un 4 % de los residuos. A partir del volumen de desechos generados, su composición y la manera en que se gestionan, se estima que en 2016 el tratamiento y la eliminación de desechos generaron la emisión de 1.600 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente, lo que representa alrededor del 5 % de las emisiones mundiales.

## **6) Residuo cero**

Una de las estrategias predominantes que aboga por este cambio de modelo es la llamada estrategia del residuo cero. Residuo cero se fundamenta, a grandes rasgos, en el reto de reducir progresivamente la generación de residuos hasta incorporar todas las materias en el ciclo productivo o en los sistemas naturales. El intercambio, la reutilización, los mercados de segunda mano o el

aprovechamiento de los excedentes alimentarios, por ejemplo, son acciones encaminadas a hacer de la prevención y la reducción desde el origen la vía para avanzar en la minimización de la carga residual.

### **3.1. Métodos avanzados de recogida y tratamiento de residuos**

#### **3.1.1. Sistemas de recogida selectiva**

Cuando hablamos de recogida selectiva de residuos municipales incluimos los residuos de origen domésticos y los residuos de origen comercial.

Existen distintos modelos de recogida selectiva en **función de las fracciones** que se recojan y según el **sistema de recogida**. Cada municipio elegirá el sistema que considere más adecuado dependiendo de sus posibilidades y de la legislación vigente en el país en el que se encuentre.

Los modelos de recogida selectiva más comunes en función de las fracciones son:

- Recogida selectiva modelo de cinco fracciones de residuos: vidrio, papel y cartón, materia orgánica, envases y resto.
- Recogida selectiva modelo de residuo mínimo: vidrio, papel y cartón, materia orgánica y envases + resto, que se recoge conjuntamente.
- Recogida selectiva modelo multiproducto: vidrio, materia orgánica, resto y papel y cartón + envases, que se recoge conjuntamente.

Lo que determinará la elección de un modelo u otro será la tecnología de las plantas de tratamiento de residuos. En el caso de los modelos de residuo mínimo y de multiproducto, las plantas receptoras de estas fracciones deberán disponer de la tecnología necesaria para separar y reciclar los productos recibidos.

En otros países, como Estados Unidos, Canadá o Japón, también se recogen los residuos según otros modelos de fracciones, algunos más simples (3/4 fracciones EE. UU. y Canadá) y otros más complejos (hasta ocho fracciones en Japón), siempre en función de la capacidad tecnológica de las plantas de tratamiento, buscando el equilibrio entre costes de recogida y resultados de reciclaje final.

Aparte de las fracciones de recogida municipales, también intervienen otros sistemas de recogida de otras tipología de residuos, como son la recogida de los residuos voluminosos, y los denominados puntos verdes, puntos limpios o ecoparques, que son instalaciones de gestión de otros residuos municipales, como los residuos especiales, los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, los residuos voluminosos, los residuos de obra y construcción, etcétera.

Los sistemas de recogida de residuos municipales más comunes son:

- Contenedores en superficie en las calles. Existen una gran variedad de modelos en función de su tamaño y de su sistema de recogida y vaciado.
- Contenedores instalados bajo tierra. También existen variedad de modelos en función del tamaño y, sobre todo, del sistema de recogida y vaciado.
- Recogida neumática. Son sistemas de recogida a través de canalizaciones en las calles o los edificios, donde se vierten los residuos y estos son succionados neumáticamente hacia contenedores de grandes dimensiones o camiones directamente.
- Recogida puerta a puerta. Son sistemas de recogida selectiva de residuos donde se recoge de manera individualizada a cada usuario del servicio los residuos que genera. Existen múltiples variaciones de esta tipología de recogida en función de horarios, fracciones, contenedores, condiciones, etcétera.

### 1) Recogida puerta a puerta (PaP)

El sistema de recogida puerta a puerta es el modelo que mejores resultados de recogida selectiva ha obtenido en todos los sistemas urbanos en los que se ha aplicado.

Habitualmente, un sistema de recogida puerta a puerta viene definido por unos horarios y calendarios de recogida de residuos por fracciones, en el que se recogen exclusivamente los residuos de la fracción pertinente. Como la recogida es individualizada, se lleva un control de la calidad de los residuos recogidos a cada usuario, lo que permite recoger únicamente aquellos residuos bien seleccionados, o implantar cualquier tipo de acción de control sobre el usuario.

Las ventajas de este sistema son que la individualización de la recogida permite tener una trazabilidad del residuo y del comportamiento del usuario. Esto mismo es un factor que a veces genera rechazo por parte de los propios usuarios, ya que se ven obligados a realizar una correcta separación de los residuos en origen, si quieren ser objeto de la recogida. Justamente este hecho provoca que sea el sistema que mejores resultados obtiene de recogida selectiva en los municipios en los que se implanta.

A nivel económico, los costes de la recogida son altos en comparación con otros sistemas de recogida, porque aunque la inversión en obra civil o maquinaria no es superior a la recogida neumática o a la recogida en contenedores soterrados, sí que dedica más mano de obra y más tiempo para realizar dichas recogidas, ya que los residuos están más dispersos en el territorio. Por otro lado, genera más puestos de trabajo que otros sistemas. Si en los municipios se



aplican fiscalidades positivas para el reciclaje, este sobre coste económico puede verse compensado de manera directa por los mejores resultados de recogida selectiva, en muchos casos rozando el 80 %.

El sistema de recogida puerta a puerta permite también aplicar el principio de quien contamina paga, aplicando tasas directas diferenciadas a los usuarios, sean domésticos o sobre todo comerciales, en función de la cantidad y calidad de los residuos recogidos.

Difícilmente se conseguirán los objetivos de reciclaje que se marca la Unión Europea y Naciones Unidas si no se apuesta por la implantación de este tipo de sistemas de recogida selectiva puerta a puerta en los sistemas urbanos y las ciudades.

### **Joahn Marc Simon, Zero Waste Europe**

El coordinador de la red Zero Waste Europe, **Joahn Marc Simon**, señala que el sistema puerta por puerta es muy efectivo y debería llevarse a cabo en todas las ciudades europeas. «Este sistema funciona muy bien, ya que se consigue que los materiales sean puros y esto les da un mayor valor en el mercado. **Cuanta más cantidad de desechos que no estén mezclados, mayor será el rendimiento que se pueda sacar de ellos**», apunta Joahn.

Este experto cuenta que España está por debajo de la media europea. **En la mayoría de los países de Europa se aprovecha entre el 40 y el 50 % de los materiales, ya que se ha reciclado en condiciones, mientras que la media de España está en torno al 30 %**. Sin embargo, destaca que hay varias ciudades españolas que están por encima de ese nivel, como pueden ser Hernani (País Vasco) o Argenton (Barcelona), donde se pueden obtener desechos reciclados por encima del 80 %.

Dentro de Europa, destaca la zona de Flandes en Bélgica, «**en la mayoría de los municipios de esta zona se utiliza este sistema de reciclaje selectivo, lo que hace que se pueda aprovechar el 75 % de los residuos**».

### **3.1.2. Plantas de tratamiento específico**

Existen diferentes tipos de plantas para el tratamiento específico de los residuos:

1) Plantas de tratamiento específicas para estabilizar la materia orgánica y permitir generar biogás y compostaje, cuyo destino precisa una gestión supramunicipal, ya que debería utilizarse en programas de recuperación de suelos.

2) Plantas específicas de tratamiento, reciclaje y recuperación de aceites, y de materias no orgánicas.

3) Plantas de selección de envases. Estas plantas seleccionan y reciclan materiales para obtener plásticos de diferentes tipos, tetrabriks, papel-cartón, vidrio y latas. La capacidad total oscila alrededor de las 16.000 toneladas, con un porcentaje de recuperación de más del 80 %.

4) Los ecoparques son plantas de valorización energética de los residuos, planta de tratamiento, depósito controlado y aprovechamiento en biogás en el caso del AMB. Se trata de una planta que combina instalaciones en un mismo

recinto para el tratamiento y la eliminación de las diferentes fracciones de la basura. En su día fueron considerados la gran solución al problema de los residuos y la manera de incrementar el porcentaje de recogida selectiva, pues del resto se esperaba sacar un provecho y una selección de materiales aprovechables. A la larga, se ha comprobado que los resultados no son los esperados, sobre todo debido a la mala calidad de la materia orgánica obtenida en los ecoparques, y se ha demostrado que la selección que realmente es significativa para unos buenos resultados es la que se hace en origen.

### **Ecoparques en Cataluña**

En la actualidad, existen cuatro ecoparques en Cataluña, todos ellos en el Área Metropolitana de Barcelona, con una capacidad de tratamiento superior a las 900.000 toneladas al año. En los ecoparques se reutilizan diferentes fracciones: vidrio, papel-cartón y plástico, y principalmente se trata la materia orgánica para la producción de biogás y compost. La capacidad total de compostaje es de unas 130.000 toneladas al año; la producción de biogás, de unos 38 millones de m<sup>3</sup>/año, y los subproductos recuperados superan las 70.000 toneladas/año. La producción de electricidad llega casi a los 50 MWh/año, funcionando los tres ecoparques citados.

5) En las plantas de valorización energética es eliminada –a través de la quema e incineración– la parte de los residuos que no se ha recogido selectivamente ni se ha reutilizado, el denominado «rechazo».

### **Planta de valoración energética de St. Adrià del Besos**

Los desechos «rechazo» del Área Metropolitana de Barcelona son eliminados en la planta de valoración energética de St. Adrià del Besos, con una capacidad de unas 300.000 toneladas/año, que generan una producción eléctrica de 155.000 MWh/año. Esta planta, creada en 1975, sufrió una fuerte remodelación en el año 2000 para acondicionarla con la normativa europea de emisión de gases contaminantes, y realiza un tratamiento térmico de las basuras utilizando la combustión a alta temperatura.

6) Las incineradoras son instalaciones en las que se produce una combustión controlada de los residuos. Los residuos se queman en hornos en los que la combustión se garantiza que se produzca a una temperatura de 850 C y se controla la cantidad de oxígeno, un 6 % de O<sub>2</sub> con turbulencia; de este modo se genera una buena combustión y se minimiza la generación de gases, cenizas y escorias, que son los productos resultantes de este tipo de tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU). Una de las claves de la incineración, como se ha comentado, es la temperatura y el tiempo que el residuo permanece en el horno, que no suele ser más de dos segundos. El control de la temperatura es fundamental para garantizar la minimización de gases y, sobre todo, evitar la producción de dioxinas.

Cabe decir que, a pesar de los cada vez mejores filtros de carbono activo instalados en las incineradoras y plantas de valorización energética, estas plantas emiten gases que afectan al cambio climático.

Como se puede ver, la incineración es un sistema que permite reducir en gran parte el volumen de los residuos sólidos urbanos, ya que una parte la transforma en gases, cenizas y escorias. A su vez, en el proceso se genera vapor que se utiliza para la producción energética, de ahí que también se las llame plantas

de valorización energética de residuos. Pero como es evidente, la materia no se destruye, sino que se transforma, por lo que sigue habiendo una serie de fracciones resultantes que deben seguir un tratamiento u otro.

### Plantas de incineración en Cataluña

Actualmente en Cataluña hay cuatro plantas de incineración de RSU y todas ellas son de titularidad municipal. La tendencia actual es minimizar los residuos que se incineran intentando reciclar, reaprovechar o dar otro tipo de tratamiento a aquellos que pueden ser tratados mediante otro sistema, como por ejemplo la materia orgánica.

7) Las plantas específicas para la recuperación en forma de compostaje de los residuos procedentes de la poda y la jardinería (junto con fracción orgánica). En estas plantas, a partir de unas 10.000 toneladas año de materia orgánica, se producen más de 2.500 toneladas año de compost.

8) Los vertederos no son propiamente plantas de tratamiento de residuos, pues simplemente se disponen los residuos en el subsuelo de manera que afecten lo mínimo posible al medio ambiente, ya sea al subsuelo y acuíferos, al paisaje o a la contaminación atmosférica y del aire.

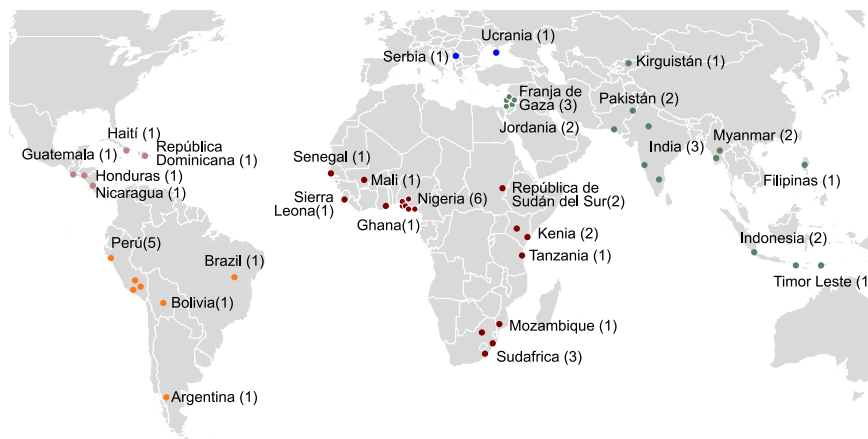
En el mundo todavía existen muchos vertederos considerados las instalaciones de residuos de mayor riesgo ambiental y para la salud.

### Informe de Naciones Unidas sobre los mayores vertederos del mundo

Naciones Unidas publicó un estudio e hizo un mapa con los cincuenta mayores vertederos del mundo. El factor que llevó a incluir un vertedero en la lista es su tamaño (24 hectáreas de media), la cantidad de residuos anuales que recibe (unas 267.000 toneladas), el total que alberga (2,5 millones de toneladas) y la gente que trabaja en él (1.300 personas). Y es que, en conjunto, acumulan un total que oscila entre 258 y 368 millones de toneladas, algunas de elementos considerados peligrosos, pese a lo cual la mayoría se sitúan a menos de una decena de kilómetros de espacios naturales. Además, 64 millones de personas viven en torno a ellos o en ellos mismos; por eso también unas 52.000 suelen vivir de lo que sacan de esos sitios.

Los continentes más pobres son los que encabezan ese ranking. Hay dieciocho en África, diecisiete en Asia y trece en América Latina-Caribe, mientras que en Europa únicamente se localizan dos y están en países del Este (concretamente, en Serbia y Ucrania). Hablando de países, si atendemos a este criterio, el que sale más perjudicado es Nigeria, con seis, seguido de Perú, con cinco, y Sudáfrica, India y Gaza (Palestina) con tres cada uno.

Mapa de los mayores vertederos del mundo Naciones Unidas



### **3.2. Problemática en la gestión de residuos**

Como se puede apreciar, uno de los graves problemas ambientales que sufre el planeta es la generación de residuos. Hay distintas técnicas de recogida y tratamiento de estos residuos, y se está mejorando en cuanto a los resultados de recogida selectiva. Existen tratamientos eficaces, pero sobre todo la solución pasa por generar menos y mejor, y por tener buenos sistemas de recuperación de recursos.

Uno de los principales retos en la gestión de residuos urbanos es la concienciación y participación de toda la ciudadanía, industrias y administraciones. No existe una tecnología que solucione el problema por sí sola; la solución radica en la participación activa de todos los agentes implicados en los sistemas de reciclaje y en la puesta en marcha de las distintas iniciativas que hemos ido viendo en los apartados anteriores.

Apostar por un cambio de modelo de consumo, por un diseño sostenible de los productos y por una correcta selección de residuos en origen son los pilares de la solución al problema medioambiental que es hoy en día la generación de residuos.

## 4. El ciclo del agua

El agua, con toda seguridad, es el recurso natural más limitante del planeta. A menudo, en una primera impresión pensamos que se trata de un recurso renovable. Desde hace miles de años, el agua circula por el planeta entre los océanos, la atmósfera y por las escorrentías terrestres retorna a su origen, lo que crea una ilusión de abundancia.

Nada más lejos de la realidad. Si bien es cierto que a escala global parece inagotable, su distribución sobre la tierra tan heterogénea provoca graves disfunciones. Solo hay que pararse a pensar en que la mitad de los recursos hídricos del mundo (40.700 hm<sup>3</sup>), se concentran en tan solo seis países. Además, únicamente el 3 % del agua del planeta es dulce y de esta solo un 1 % está disponible para el consumo humano. Aun así, es mucha agua. Por tanto nos podemos preguntar ¿por qué es un recurso tan escaso? Porque a lo largo de los siglos el agua ha ido incrementando sus usos.

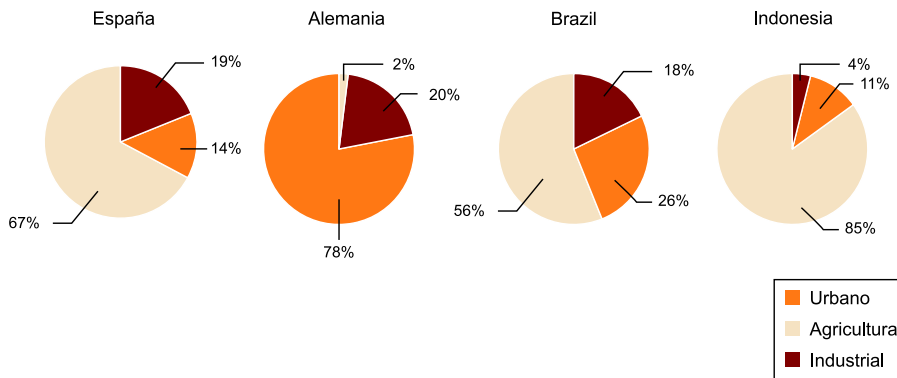
### 4.1. Su problemática

Hoy en día el agua no solo se utiliza, como antaño, como fuente para la agricultura y para las primeras necesidades, sino que además como recurso para el ocio, para la obtención de energía, para uso paisajístico, industrial, para la refrigeración, etc. La presión que la sociedad humana ejerce sobre los ecosistemas de agua dulce se ha acelerado enormemente en las últimas décadas, comprometiendo estos sistemas, provocando efectos negativos como la pérdida de biodiversidad de las especies piscícolas, o la fuerte contaminación de las aguas en determinadas zonas.

Asimismo, el aumento de la población en los últimos 50 años ha supuesto que prácticamente se triplicará la demanda de agua en todo el mundo. La agricultura, con un 70 %, es la principal consumidora, le sigue la industria, con un 22 %, y las ciudades y municipios, con un 8 %.

En entornos metropolitanos, el reparto porcentual por tipología de uso varía de forma relevante. En el Área Metropolitana de Barcelona, por ejemplo, solo el 12 % se dedica a la agricultura, mientras que el consumo doméstico representa el 45 % y la suma del comercial e industrial, el 25 %.

## Consumo de agua por sectores de diferentes países del mundo



Fuente: Aquastat, 2017.

A pesar de que la tecnología ha mejorado, aún queda una tarea importante que llevar a cabo:

Aumentar la eficiencia en el consumo de agua, en especial en los países más deprimidos y en el campo de la agricultura.

En definitiva, no solo es un recurso distribuido heterogéneamente, sino que el alcance y los ritmos de impactos que la sociedad ejerce sobre los ecosistemas acuáticos hacen del agua uno de los principales problemas mundiales.

El agua presenta un curioso desafío: disminuir su consumo excesivo en una parte del planeta y garantizar la disponibilidad de este recurso en la otra parte. A diferencia de otras materias primas, el agua no solo adquiere valor cuando se extrae para el consumo humano, sino que en su estado natural, como soporte de vida que es, posee un valioso valor económico. De hecho, este es uno de sus problemas: en los costes de abastecimiento esta función vital del agua no es considerada, lo cual hace que su verdadero valor debería ser más elevado, ya que es necesario internalizar en los costes el valor ecológico del agua.

El futuro de los recursos hídricos en el planeta está muy comprometido debido a la heterogeneidad de su distribución y, sobre todo, a la ineficiencia de su uso. Hay que encontrar un equilibrio óptimo entre satisfacer las necesidades humanas y la preservación de los ecosistemas acuáticos.

Debemos cambiar nuestro concepto de gestión del agua: es necesario incorporar una nueva cultura del agua, que valore este recurso en su justa medida, priorizando el ahorro y la eficiencia, y a la vez garantizar una asignación suficiente y de calidad para la preservación de los ecosistemas acuáticos. Es precisa una nueva actitud en la planificación hídrica.

Hasta hace poco, las políticas del agua, no se habían planteado de una manera integral en todo el ciclo del agua. Eran actuaciones encaminadas a alcanzar una mayor oferta que la demanda, siempre intentando conseguir más recursos, sin plantear el agua como un recurso escaso y limitante, necesario para la conservación de los ecosistemas. Los propios estándares de calidad de los programas de planificación estaban diseñados más para conseguir una determinada calidad en el agua potable que con objetivos encaminados a recuperar la calidad de los ecosistemas acuáticos.

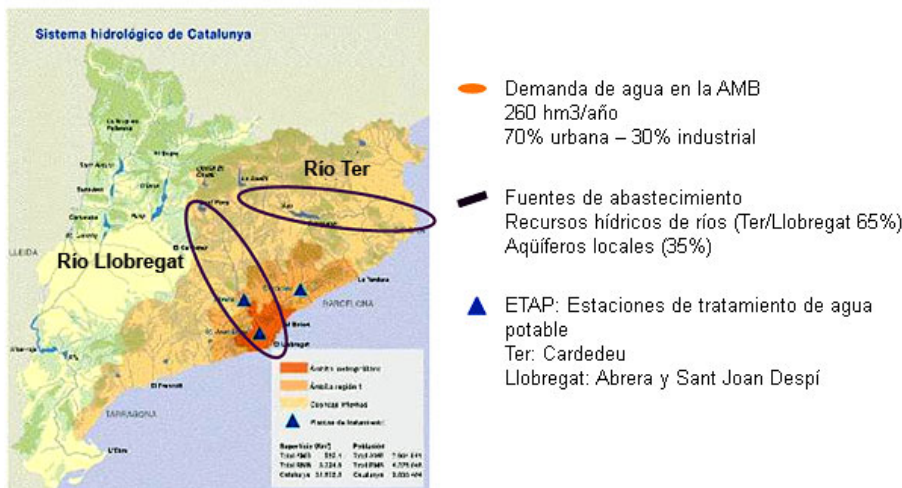
Hay que pensar que la sobreexplotación de los recursos hídricos a la que se ha llegado tanto en calidad como en cantidad en determinadas zonas es consecuencia de políticas inaceptables y de disfunciones territoriales.

La excesiva urbanización supone problemas de garantía y calidad del agua. En primer lugar, se incrementa excesivamente la impermeabilización de las cuencas fluviales, lo que implica que lleguen a las redes de drenaje mayores caudales con lluvias cada vez menos importantes.

Además, la población expuesta a las inundaciones, debido a la ocupación de zonas inundables, se ha incrementado. Este crecimiento de las zonas urbanas afecta de la misma manera al sistema de saneamiento: al incrementar la red de colectores y alcantarillas, las aguas están más tiempo recorriendo la red de saneamiento y en las plantas depuradoras que en los cauces de los cursos fluviales.

El crecimiento de los núcleos urbanos de manera difusa, las urbanizaciones aisladas con una demanda excesiva de agua (riego de zonas ajardinadas y piscinas), la fuerte demanda por parte de una industria dilapidadora, el fuerte crecimiento en las zonas costeras para un turismo insostenible, el impacto de la agricultura y la ganadería sobre los acuíferos con el problema de contaminación de nutrientes, los vertidos incontrolados, la degradación de los tramos finales de ríos, etc. son algunos aspectos que están alterando fuertemente los ecosistemas acuáticos de todo el mundo.

### Más del 20% de la demanda de las CIC pertenece a la AMB



Esquema del abastecimiento al entorno metropolitano de Barcelona

Cuando se habla de planificación hidrológica, se ha de tener muy presente el contexto climatológico y, por tanto, planificar atendiendo a estas características.

Las medidas que se deben implementar dentro de esta nueva actitud hacia el agua han de evaluar entre otras cosas las siguientes:

- La capacidad como potencial de abastecimiento de agua.
- Su calidad para su uso.
- La garantía de que el volumen de agua suministrada esté disponible en el momento en el que es preciso.
- El coste económico debe incluir todos los costes, tanto energéticos como los de impacto ambiental a escala local, regional y global.

Aunque el volumen de agua extraída de la naturaleza por las ciudades se puede evaluar en menos del 10 % del total, su consumo concentrado exige importantes infraestructuras de captación y de saneamiento, así como pozos profundos que alteran en gran medida los ecosistemas acuáticos.

### La planificación hidrológica en España

La «nueva cultura del agua» no es solo un conjunto de nuevas tecnologías para conseguir recursos hídricos mejorando la eficiencia y el ahorro, sino además es un nuevo enfoque en la gestión del agua, que se basa en la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (2000/60/CE), que –sin olvidar nuestras necesidades hidrológicas– propone centrar la atención en la mejora del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos y garantizar una mejor calidad del agua para el consumo humano. Su aplicación se fundamenta en unos principios básicos:

- La sostenibilidad. Mejora de los ecosistemas acuáticos, lo que permite obtener suministros de aguas saludables y seguras.

#### Ejemplo

Un ejemplo de ello es el clima mediterráneo, en donde las fluctuaciones en las precipitaciones pueden provocar períodos de sequía importante, por lo que es interesante que la planificación tenga en cuenta estos aspectos.



- La subsidiariedad. Decisiones cercanas a las zonas donde se produzca la demanda y en donde se encuentran los problemas de contaminación.
- La eficiencia. Obtener agua al mejor coste posible con las mejores tecnologías que ofrezcan un menor impacto ambiental.
- La participación. Asegurar la transparencia en la información y en la toma de decisiones para obtener la aceptación social.

El objetivo de mejorar la calidad ecológica de los ecosistemas y de los recursos se debe combinar con garantizar todos los usos del agua que sean sostenibles en los diferentes territorios. Es necesario asignar la tipología de agua para cada uno de los usos previstos de agua. No tiene sentido que para el riego agrícola o limpiar las calles se utilicen recursos de agua potable, ya que esto incide en el derroche del recurso. Asimismo, es necesario garantizar el abastecimiento de agua a todos los núcleos de población con el mismo rigor con el que se mejoran las condiciones ambientales.

La demanda excesiva de agua tiene su coste. La mayor parte de las megaciudades del mundo (ciudades de más de 10 millones de habitantes) están situadas en zonas con estrés hídrico y por tanto las extracciones superan con creces la capacidad de los sistemas hidrológicos. Además, aunque no se puede generalizar, las grandes ciudades tienen un problema en relación con el uso del agua: su gran derroche. Según palabras de Kofi Annan, las pérdidas de agua, ya sea por fugas de las redes de distribución o por una mala gestión, ascienden en las ciudades de todo el mundo a un 40 %<sup>4</sup>.

<sup>(4)</sup> Algunos datos son verdaderamente espectaculares: en África es corriente que entre un 50 y un 70 % del agua extraída se derroche debido a pérdidas, conexiones ilegales, etc. Taiwán pierde un volumen aproximado de 2 hm<sup>3</sup> al día debido a las pérdidas. En las ciudades de Estados Unidos que disponen de alta tecnología sus pérdidas en la red pueden alcanzar entre un 10 y un 30 %.

Otro de los problemas es la gran heterogeneidad de la demanda de agua para usos domésticos. Este factor es muy ilustrativo de las diferencias entre las diferentes ciudades del mundo.

### **Heterogeneidad en la demanda de agua de uso doméstico**

Las diferencias entre las ciudades muestran claramente las diversidades culturales y urbanísticas más allá de los avances tecnológicos. Veamos algunos consumos de ciudades: Turín 281 l/hab./día, Estocolmo 200 l/hab./día, Hamburgo 164 l/hab./día, Ámsterdam 155 l/hab./día, Zurich 180 l/hab./día. Estos valores destacan con los casi 400 l/hab./día de Tampa o los 825 l/hab./día de Phoenix. Barcelona, por ejemplo, tiene un consumo más que aceptable dentro de la media europea, con 108 l/hab./día, y ha disminuido un 25 % en los últimos años: desde hace unos años la mayor parte de la población barcelonesa toma medidas para el ahorro de agua.

El consumo excesivo no solamente repercute directamente en un gran consumo del propio recurso y afecta a los balances locales de agua, sino que hay que sumar los costes de potabilización y energía que esto representa.

Y aún más paradójico es el coste del agua. En las ciudades más pobres el coste del m<sup>3</sup> es mucho mayor que en las ciudades ricas. En las zonas pobres de Delhi la gente paga a los vendedores ambulantes de agua más de 500 veces el coste del m<sup>3</sup> de las zonas más ricas con conexión a la red.

## 4.2. Mejoras en la eficacia del ciclo del agua

Hay distintos aspectos en los que hay que incidir para mejorar la eficiencia del ciclo del agua. Como ya se ha comentado, es necesario intervenir en todo el ciclo para mejorar a corto y medio plazo la disponibilidad de agua.

### 4.2.1. Actuación sobre los ecosistemas acuáticos

Un primer aspecto es la necesidad de actuar sobre los ecosistemas acuáticos de los que se extraen los recursos hídricos de las zonas urbanas. Muchas de estas zonas se encuentran alejadas a decenas y centenares de kilómetros de las ciudades y necesitan grandes infraestructuras de captación, distribución y potabilización del agua.

En determinadas áreas la relación recurso-demanda es limitante y las reservas hídricas dependen en gran medida de las características de los años climatológicos. Por otra parte, como en general el consumo industrial y agrícola representa un volumen importante, esto plantea problemas de calidad en los recursos. La calidad del agua y las sequías, entre otros factores, condicionan el abastecimiento en las grandes áreas urbanas, en donde la demanda es importante. Por otra parte, la fuerte estacionalidad de algunos territorios, como zonas áridas o determinadas zonas costeras, agrava los problemas de demanda de agua.

Preservar estos recursos hídricos, desde el punto de vista ecológico, es la mayor garantía para mejorar la eficiencia y disponibilidad de agua para los diferentes usos urbanos.

Cada vez más, los costes de potabilización de las aguas son mayores debido al grado de contaminación en el que se encuentran los recursos superficiales y subterráneos. La contaminación difusa crece más y las aguas tanto superficiales como subterráneas padecen los problemas derivados de la eutrofización, la contaminación por compuestos órgano-clorados, el incremento de salinidad, etc.

Esto afecta a la calidad de las aguas y, por tanto, a su potabilización. En el mejor de los casos complica y encarece los procesos de potabilización, si no es que según su calidad hace inviable su utilización. A menudo el tratamiento de las depuradoras no garantiza una calidad adecuada de retorno del agua a los ecosistemas fluviales para regenerar la vida acuática.

Un problema relacionado con la sobreexplotación de las aguas superficiales es la falta de caudales ecológicos o de mantenimiento, que comprometen la recuperación ecológica de los cauces fluviales. La fuerte extracción de recursos junto con el vertido de aguas residuales tratadas o insuficientemente tratadas

imposibilita la recuperación de la calidad ecológica de los ríos, ya que no permite recuperar la capacidad natural de autodepuración de los cursos fluviales. Esto es especialmente grave en zonas en donde además, ya sea por las condiciones climatológicas (clima mediterráneo) o por la fuerte derivación de caudales para riego agrícola o usos industriales, los cauces fluviales presentan tramos con escasos caudales.

Igualmente, la sobreexplotación y la pérdida de calidad de las aguas subterráneas presentan muchos problemas, sobre todo en aquellas grandes metrópolis que se abastecen a partir de las unidades hidrogeológicas. Muchas de estas unidades tienen un papel estratégico en las demandas urbanas. Desgraciadamente, la contaminación de todo tipo y la fuerte salinización debida a los fuertes bombeos (entrada de agua de mar) son algunos de los graves problemas que afectan a los acuíferos.

#### **4.2.2. Incremento de la eficiencia de los sistemas de abastecimiento y distribución**

Otra de las medidas es incrementar la eficiencia de los sistemas de abastecimiento y distribución. Aunque empieza a presentar problemas de gestión en determinadas ciudades, la creación de redes separativas para las aguas residuales y pluviales es una medida ambiental que favorece el medio receptor en donde se vierten las aguas. En gran parte de las ciudades modernas las redes de alcantarillado son unitarias. No obstante, en determinadas zonas geográficas (normalmente aquellas en cuya instalación influyó la técnica inglesa) las redes son separativas. Esto permite una mayor eficacia en el tratamiento, ya que las aguas residuales, con mayor carga contaminante, son tratadas en las depuradoras mientras que las pluviales, con menor impacto ambiental, vierten directamente al medio mediante aliviaderos.

En algunas ciudades, en donde los episodios de lluvia son muy concentrados en el tiempo, la red de aguas negras o la de pluviales disponen de depósitos de retención.

##### **Función de los depósitos de agua pluvial**

El retener el agua pluvial en estos depósitos permite que el primer volumen de lluvia procedente de la escorrentía urbana fuertemente contaminada (papeles, hojas, polvo, etc.), sea retenido en grandes depósitos. Una vez pasado el episodio de lluvia esta agua es bombeada a las depuradoras para ser tratada. Esta medida favorece las condiciones del medio receptor, ya sean las aguas costeras o los espacios fluviales.

Los depósitos de agua pluvial tienen otra función importante y en algunos casos primordial: laminar las aportaciones producidas por las lluvias torrenciales y evitar posibles inundaciones en lugares deprimidos de ciudades o del territorio susceptibles de ser inundados por episodios de lluvia.

##### **Técnicas de drenaje urbano sostenible**

En la actualidad, se utilizan técnicas de drenaje urbano sostenible. Básicamente se trata de zonas donde se pueda retener e infiltrar el agua; la idea principal que hay detrás es la de acortar el ciclo del agua, que el agua de lluvia vuelva lo antes posible al medio receptor,

o que se infiltre y contribuya a la recarga del acuífero. Hay TDUS en parques, en aceras urbanizadas, en alcorques, en medianas de infraestructuras o de grandes calles.

Antes de aplicar este tipo de técnicas, debe conocerse bien el funcionamiento hidrogeológico de la zona, la topografía, si hay o no suelos contaminados, la calidad del agua y el estado del freático, también debe valorarse la permeabilidad, la capacidad de recarga y cómo puede influenciar esta sobre estructuras o elementos existentes. Suelen ser técnicas que se utilizan en países donde la pluviometría es elevada y básicamente buscan evitar que el agua de lluvia se incorpore al alcantarillado, que no suponga un mayor esfuerzo para el sistema de alcantarillado y, a su vez, que pueda generar beneficios ambientales.

Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible del barrio de la Marina del Prat Vermell (Barcelona) en el año 2016



Foto: Jacob Cirera, 2017

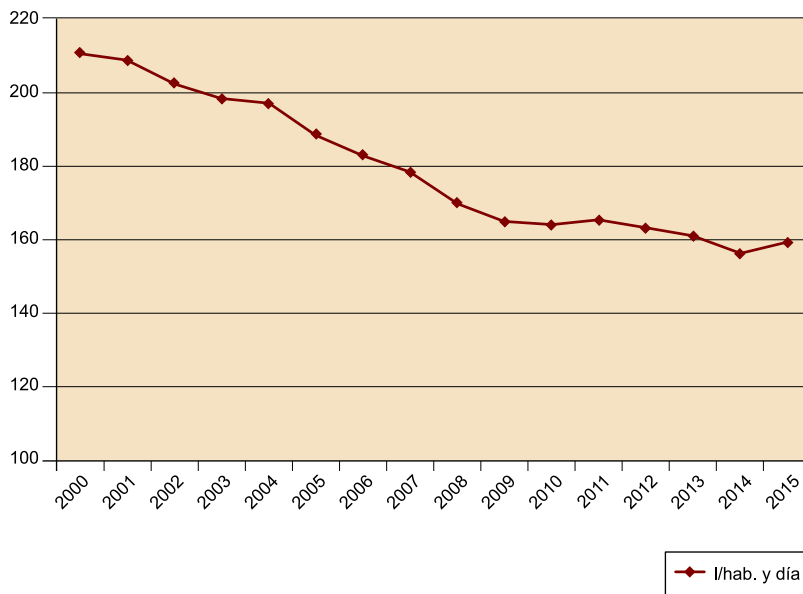
#### 4.2.3. Reducción de la demanda doméstica

Otro de los factores importantes que se debe considerar es la necesidad de reducción de la demanda doméstica. En este sentido, influyen diferentes conceptos. En primer lugar, la instalación de dispositivos de ahorro de agua, control de fugas y goteos de los grifos y electrodomésticos más eficientes. Esto puede representar hasta un 35 % de ahorro potencial de agua en una casa.

##### Nota

La instalación de estos sistemas (no incluye obviamente los electrodomésticos) en una casa puede ser amortizada en un tiempo relativamente corto y, por tanto, no supone un esfuerzo económico importante.

### Disminución del consumo global de agua en Barcelona



### Datos sobre el ahorro en el consumo doméstico de agua

#### Caso Estados Unidos

En Estados Unidos se calcula que el consumo de agua de los baños de los casas es aproximadamente de unos 262 l/hab./día. Las viviendas que instalan dispositivos de ahorro (en inodoros, duchas, grifos), así como electrodomésticos eficientes, pueden llegar a consumir solo del orden de 170 litros l/hab./día.

#### Caso Cataluña

En Cataluña se realizó una prueba piloto que la llevaron a cabo el Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña y Ecologistas en Acción. Trabajaron en distintos municipios y en diferentes tipologías edificatorias de los barrios de estos municipios, con lo que cubrieron un amplio espectro social. La campaña consistió en entregar a las familias participantes mecanismos de ahorro, aireadores, reductores, limitadores de caudal, para instalar en su vivienda. También se realizó una campaña educativa y explicativa. La prueba duró todo un año y como resultado general podemos hablar que se consiguieron reducir los consumos entre un 5,8 y un 11,1 % para aquellas viviendas que habían establecido una instalación total de los elementos de ahorro.

Otro de los sistemas que se utiliza para incrementar el ahorro y la eficiencia es el de adaptar el precio del agua con tarifas que intenten penalizar el uso excesivo de este recurso. Las tarifas en bloques crecientes con una base mínima, teniendo en cuenta el número de personas por vivienda, y que incorporen recargos especiales ayudan a que el usuario se acostumbre al ahorro y a un uso limitado del agua.

Seguramente uno de los consumos más importantes en las ciudades son los jardines y más concretamente el mantenimiento de zonas con césped.

En determinadas poblaciones con zonas importantes residenciales el incremento de la demanda de agua se produce igualmente por el número elevado de piscinas individuales. Evidentemente, este es un modelo insostenible no solo por el consumo excesivo de suelo, sino por el derroche de agua en la jardinería y en las piscinas.

Llegado a este punto, es preciso recordar la necesidad de diversificar los orígenes del agua para diferentes usos. Consumir agua potable en zonas con un estrés hídrico importante para actividades paisajísticas, de ocio o de limpieza es no solo un problema económico, sino una dilapidación de los recursos hídricos. En la actualidad hay muchas ciudades que poseen varias redes de abastecimiento con tipología de agua distinta para usos diferentes. El agua procedente de la reutilización de las aguas residuales puede ser muy válida para diferentes usos, como el riego de las zonas verdes, limpieza viaria, descarga de inodoros en las viviendas.

#### **4.2.4. Aguas regeneradas**

Son aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.

El uso del agua regenerada permite no usar agua de mayor calidad para determinados propósitos, como puede ser agua para consumo humano; por consiguiente, el agua regenerada permite ser más eficiente en el uso del recurso y hace más complejo el ciclo del agua en el ámbito urbano.

La extensión de agua regenerada debe realizarse con el mayor rigor técnico y otorgando flexibilidad de funcionamiento al sistema. El agua regenerada puede utilizarse para usos que no requieran calidad de agua potable; puede utilizarse para recargar agua en los acuíferos, como agua para asegurar los caudales de mantenimiento de nuestros cauces, como barrera para la intrusión salina, para agua de usos agrícolas, como agua para riego de parques y jardines, para limpieza viaria o incluso para usos industriales.

#### **4.2.5. Utilización de aguas subterráneas**

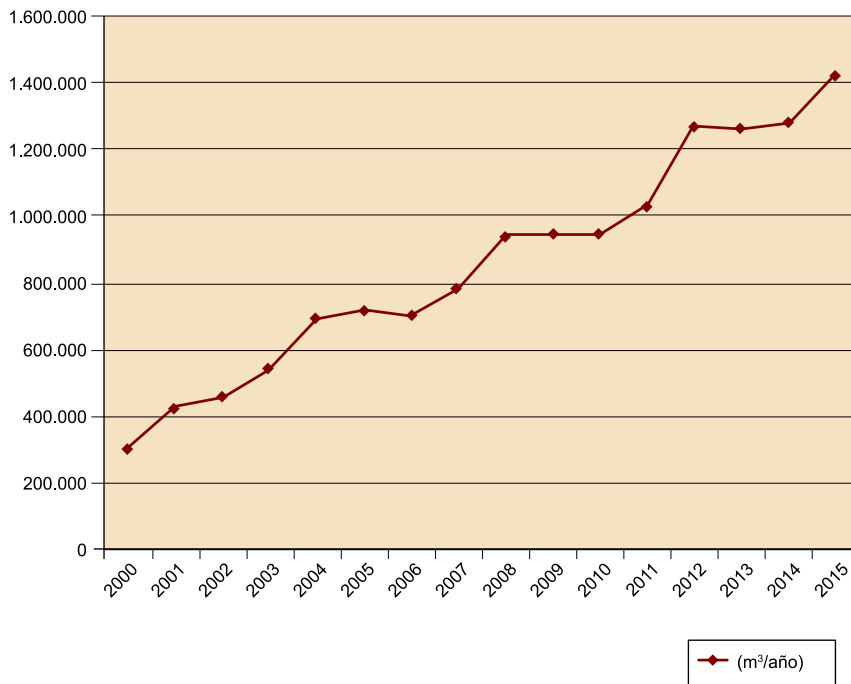
La utilización de agua del subsuelo o de los acuíferos existentes bajo zonas urbanas es también una alternativa al sistema de agua potable para usos como el riego de parques y jardines o la limpieza de calles o del sistema de alcantarillado. Además, este sistema permite evitar problemas de inundaciones en sótanos y usos del subsuelo y permite regular efectos barrera y drenaje de las infraestructuras soterradas.

##### **Utilización de agua freática en Barcelona**

La ciudad de Barcelona ha iniciado desde hace unos años la utilización de agua no potable para el riego de las zonas ajardinadas. Esta agua procede del freático del delta del Besos. El acuífero, muy utilizado por las industrias, fue abandonado en la década de los sesenta y setenta, ya que estas se trasladaron fuera de la ciudad; además, los problemas de contaminación las hacían inviables para el consumo humano. Después de muchos años los niveles piezométricos se han ido recuperando.



Utilización de agua freática por parte de los servicios municipales de Barcelona



Aumento del consumo de agua freática en un 365 % entre 2000 y 2015 en Barcelona.

#### 4.2.6. Obtención de agua potable a partir de desalación

La utilización de nuevas tecnologías es una nueva fuente de producción de agua potable. Cada vez hay más ciudades en todo el mundo que obtienen el agua potable a partir de la desalación de agua salobre o de mar para satisfacer las demandas.

La mejora de la tecnología de osmosis inversa, así como el incremento de los parámetros de calidad del agua desalada, han permitido disminuir los costes económicos y energéticos minimizando el impacto ambiental de los subproductos de la desalación. Países como Israel abastecen el 75 % de los hogares con agua desalada.

A pesar del incremento de la eficiencia energética de las desaladoras, estas plantas son aún grandes consumidoras de energía<sup>5</sup>. No parece lógico que la obtención de nuevos recursos hídricos haya de suponer un incremento de la ineficiencia energética o de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. En casi todo el mundo las grandes desaladoras van asociadas a plantas térmicas de ciclo combinado.

#### Cifra mundial de plantas desaladoras

Actualmente hay más de 9.500 plantas desaladoras en todo el mundo, con un caudal aproximado de tratamiento de 11.800 hm<sup>3</sup>/año, lo que significa cerca del 0,3 % del agua consumida en el mundo.

<sup>(5)</sup>El consumo actual de una desaladora oscila alrededor de los 3,5 kWh/m<sup>3</sup>. A medio plazo, con la mejora de las membranas, que permitirá trabajar a menor presión, se podrá llegar a un consumo de entre 2,5 y 2,8 kWh/m<sup>3</sup>.

La garantía del proceso de desalación es muy alto y prácticamente su limitación es la demanda energética. De todas maneras, la desalación es un sistema muy rígido y por tanto poco elástico a las fluctuaciones de la demanda. Por lo que se refiere a su calidad se puede obtener agua con una conductividad de hasta de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , muy inferior al resto de recursos; además, esto hace que prácticamente no sea necesario un proceso posterior de potabilización.

#### 4.2.7. La depuración de agua residual

La depuración del agua residual es fundamental, ya que uno de los mayores impactos son las aguas residuales vertidas sobre nuestros cauces o sobre nuestra costa. Es usual pasearse por nuestro territorio, en el mayor sentido de la palabra, y encontrar rieras, torrentes, ríos y lagos con una mala calidad ecológica de sus aguas.

También es usual hallar urbanizaciones de los años setenta que todavía hoy en día no tienen un sistema de recogida de agua fecal y en muchos casos ni siquiera cuentan con el mecanismo más simple, el de la fosa séptica.

#### Plantas depuradoras en Cataluña

En Cataluña hay más de 250 plantas depuradoras diseminadas por el territorio y aun así la mayoría de los tramos bajos de sus ríos padecen de un mal estado ecológico de sus aguas. Es cierto que en los últimos años han mejorado respecto a los setenta-ocho, pero distan aún de ser lo que fueron hace menos de un siglo: ecosistemas. Por otro lado, el tema de las urbanizaciones, o de los asentamientos de baja densidad, ha provocado la recurrencia a sistemas de depuración natural mediante lagunajes.



Planta depuradora del Llobregat: tratamiento biológico y tratamiento terciario

#### El agua regenerada

Los costes indicativos de la regeneración de agua depurada mediante ultrafiltración son aproximadamente la mitad que los costes de desalación mediante ósmosis inversa.

No obstante, el agua regenerada aún presenta escollos sanitarios para poder ser utilizada para determinados usos (industria alimentaria, uso doméstico, entre otros).



## 5. Eficiencia y racionalización de la energía

### 5.1. El consumo de energía

La transformación y el consumo de energía es una de las actividades humanas que más perjudican al medio ambiente, ya que aproximadamente dos terceras partes de los gases de efecto invernadero proceden de ello, y consecuentemente del cambio climático. Las ciudades necesitan grandes cantidades de energía pero también productos cuya fabricación y suministro las convierten en sistemas altamente consumidores de energía.

La composición de la oferta energética influye fuertemente en el modelo de ciudad y determina en gran medida las condiciones ambientales de la urbe (calidad del aire que se respira, ruido, contaminación lumínica, etc.). El modelo energético en el que se basa el funcionamiento de la gran mayoría de las conurbaciones de países desarrollados depende de formas de energía derivadas de combustibles fósiles y nucleares, aprovecha escasamente las fuentes de energía renovables locales y hace un uso ineficiente de los recursos energéticos que consume. Se trata de un modelo de ciudad insostenible.

Es necesario, por tanto, mejorar la eficiencia energética y racionalizar el consumo de energía de los sistemas urbanos, modificando a la vez la oferta energética con la mayor utilización de energías limpias y renovables. Y para ello hay que reconsiderar la eficiencia de la producción/transformación y distribución de la energía en la ciudad, el modelo urbano y la adecuación arquitectónica de los edificios. Conocer cuáles son los flujos energéticos de una ciudad, el modelo y la oferta energética, nos permitirán plantear alternativas más eficientes y racionales energéticamente.

### 5.2. Transformación/producción de energía

Los recursos primarios de energía no se consumen, generalmente, en la forma en la que se extraen, sino que experimentan transformaciones que permiten que puedan ser aprovechados en forma de electricidad, calor, o combustibles para satisfacer las necesidades energéticas finales. Estas transformaciones suponen una pérdida de energía, de modo que la energía primaria consumida es siempre mayor que la energía final, y, a su vez, la obtención de energía útil a partir de la energía final también tiene su propia eficiencia dependiendo del proceso de transformación. A ello se han de añadir las pérdidas energéticas derivadas del transporte y la distribución de la energía.

#### Consumo energético de las ciudades

Se estima que un 75 % de la energía a escala mundial se destina a mantener la compleja organización de las ciudades, sobre todo por consumo directo de ella.

#### El consumo energético

En el área metropolitana de Barcelona, el 75 % del consumo energético final total proviene de combustibles fósiles, y el consumo energético se reparte en un 36 % dedicado a la movilidad, un 20 % para usos doméstico, un 20 % para uso terciario y un 22 % para uso industrial.

El modelo energético actual, del cual dependen la mayoría de los sistemas urbanos, es un modelo fuertemente centralizado en el que la producción y la transformación de energía tiene lugar en centros ubicados generalmente fuera de los límites del propio sistema urbano, mientras que el consumo de energía se da en la propia urbe. Sin embargo, cuando se analiza la generación de energía final, se observa que este modelo presenta además dos características opuestas: por un lado, concentra la generación eléctrica y la aleja del usuario final y, por el otro, descentraliza la generación de la energía calorífica. Este modelo provoca que:

- La energía deba ser transportada y distribuida hasta la ciudad, mediante una amplia red de infraestructuras de transporte, con considerables pérdidas de energía e impactos sobre el medio.
- La calidad de los servicios energéticos dependa del buen funcionamiento de los sistemas de producción y distribución (posibilidad de cortes eléctricos, posibles desabastecimientos de combustible).
- La ciudad no se responsabilice de las externalidades de la producción de la energía que consume, normalmente generada con combustibles fósiles y nucleares.

Por tanto, con el fin de conseguir un modelo energético para las ciudades más eficiente y más sostenible es necesario:

- Acercar los centros de producción de energía a los puntos de consumo, lo que permitirá reducir las pérdidas y establecer sinergias, aunque con el fin de minimizar el impacto sobre el medio urbano deberán adoptarse tecnologías menos contaminantes y más eficientes. Ejemplos de ello sería la sustitución de centrales térmicas convencionales por centrales de ciclo combinado o centrales que aprovechen recursos renovables, como la biomasa generada en el propio medio urbano, o la valorización de residuos urbanos.
- Generar parte de la energía que consume la ciudad en su propio territorio, de manera mas eficiente y en la medida de lo posible aprovechando los recursos renovables locales.

### **5.2.1. Fuentes de energía**

#### **Fuentes de energía no renovables**

Fuentes de energía no renovables son aquellas que se encuentran en cantidades limitadas y se extinguen con su utilización; agotadas las reservas no pueden regenerarse. Hablamos de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y el uranio, que es la materia prima para obtener la energía de fisión nuclear.

Todas estas fuentes de energía tienen unas reservas que se pueden considerar finitas, ya que necesitan mucho tiempo para ser repuestas, y con una distribución geográfica no homogénea.

No obstante, el metabolismo urbano de las ciudades se sostiene, actualmente, sobre los combustibles fósiles. Un estoque de combustibles que disminuirá constantemente y que puede aumentar de precio ostensiblemente en un futuro no muy lejano.

#### **Fuentes de energía renovables**

Fuentes de energías renovables son aquellas que, al provenir del sol, son inagotables a escala humana. Además de la energía solar, el sol es el origen de la eólica (las diferencias de calor son las que provocan las diferencias de presión que originan el viento), de la hidráulica (el sol ordena el ciclo del agua, al provocar la evaporación y las lluvias) y de la formación de la biomasa (la materia vegetal que se sirve del sol para vivir y crecer). También son inagotables la energía geotérmica, procedente del vapor natural de la Tierra, y la de las mareas, causada por los campos gravitatorios terrestre y lunar.

Estas fuentes de energía se consideran fuentes limpias, son más respetuosas con el medio ambiente, no producen las emisiones de gases de efecto invernadero de los combustibles fósiles ni generan residuos de difícil tratamiento.

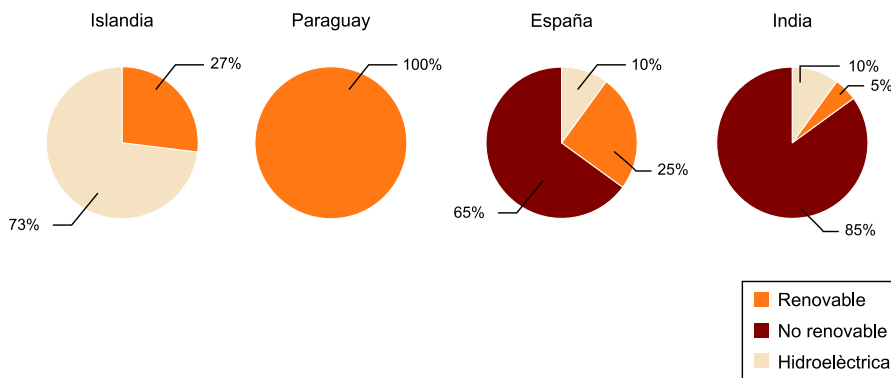
Sin embargo, son energías que requieren una mayor ocupación de suelo y su obtención puede ser irregular en el tiempo, vinculada a la meteorología en muchos casos y con la necesidad de medios de almacenamiento en muchos otros.

La ciudad aprovecha la energía solar térmica mediante sistemas de captación que, dependiendo del tipo de instalaciones, se pueden clasificar en sistemas de temperatura alta y media, que calientan agua, aceite o aire para usos térmicos o de producción de electricidad mediante una turbina de vapor; y los sistemas de baja temperatura, los más extendidos, que se utilizan para la obtención de agua caliente para usos sanitarios.

También aprovecha la energía fotovoltaica transformando los rayos solares en electricidad, mediante captadores fotovoltaicos que producen corriente continua, que se puede almacenar en baterías o convertir en corriente alterna e inyectarla a la red eléctrica.

Otro recurso renovable es la energía eólica, que además de en sus tradicionales aplicaciones mecánicas, puede utilizarse para la producción de electricidad gracias a la utilización de aerogeneradores, que la transforman en energía eléctrica.

Porcentaje de fuentes renovables y no renovables en la producción energética de varios países del mundo (2015)



Fuente: World Bank 2019 (World development indicators).

### 5.2.2. Generación local de energía

El concepto de generación local, o generación en el ámbito urbano, tiene dos vertientes:

- Generación de energía eléctrica y térmica mediante procesos de combustión de fuentes fósiles.
- Generación de energía eléctrica y térmica mediante fuentes renovables (biogás, energía solar, etc.).

Con la generación local se pretende aumentar la eficiencia energética respecto a los sistemas tradicionales y reducir las pérdidas de distribución.

El sistema de la generación local puede tener diferentes escalas (desde el orden de kilovatios (microgeneración) hasta decenas de MW). El hecho de apostar por la microgeneración o la generación local en general no significa prescindir de las redes eléctricas, más bien al contrario: se necesitan unas redes potentes y robustas para optimizar el conjunto del sistema eléctrico y obtener el máximo rendimiento energético de la generación local. Por otro lado, las pequeñas instalaciones dentro de la ciudad aumentan la diversidad de fuentes eléctricas

#### Tecnologías de generación local

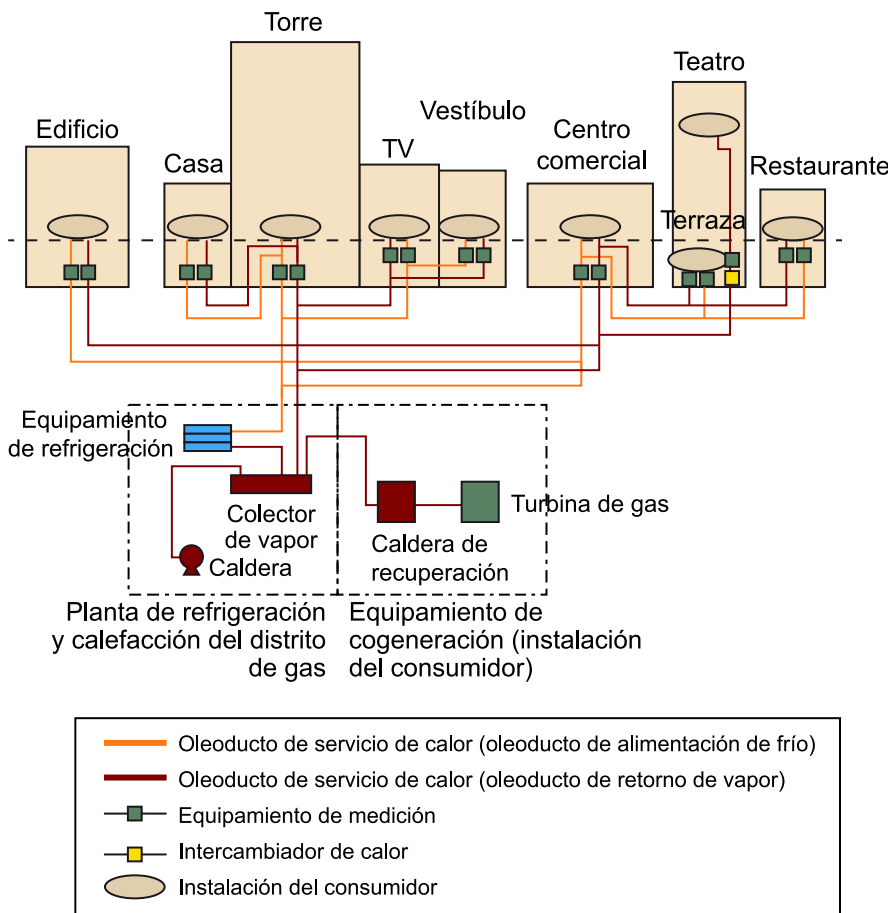
Algunas de las tecnologías más destacadas son la cogeneración y la trigeneración con motores y turbinas de gas, y en un la pila de combustible.

y la seguridad de suministro en el caso hipotético de que el sistema eléctrico falle, al tiempo que permiten acercar la generación a los puntos de consumo y ganar en eficiencia.

**Sistemas centralizados de climatización**

Otra forma de aumentar eficiencia son los sistemas centralizados de climatización que proporcionan a distintos edificios la energía térmica necesaria para su climatización, en forma de agua caliente y/o agua fría generada en una instalación centralizada, con el consecuente aumento de la eficiencia. La tendencia es la de aplicar técnicas de cogeneración (producción de electricidad y uso simultáneo del calor residual para calefacción y refrigeración), técnicas que pueden permitir alcanzar una eficiencia elevada, entre un 70 y un 90 % de la energía primaria.

Esquema de un sistema centralizado de calefacción y refrigeración



Esquema de un sistema centralizado de calefacción y refrigeración. (District Heating and oling, DHC)

**La energía solar térmica**

La generación de energía mas limpia será la procedente del aprovechamiento de los recursos renovables. El más usual es el de la energía solar térmica, para lo cual se utilizan instalaciones compuestas por un sistema de colectores que captan la energía solar y la transforman en energía térmica, una serie de depó-

sitos que almacenan el agua caliente, y un sistema de distribución, válvulas, y bombas que transportan el agua caliente desde el sistema captador hasta el de acumulación y de este a los puntos de consumo. Si las necesidades de calor a lo largo del año no coinciden con la energía solar que recibimos, podemos instalar una fuente de energía complementaria que se activará cuando la energía almacenada en los captadores no sea suficiente.

En las ciudades, los captadores solares se pueden instalar en terrazas, tejados, fachadas o patios soleados, siempre siguiendo criterios arquitectónicos que permitan la máxima integración de los elementos en la edificación y minimicen el impacto visual. Los colectores generalmente deben orientarse al sur, y con una inclinación similar a la latitud de lugar, de modo que se maximice la energía captada. Estas instalaciones pueden aportar, en el caso de viviendas u hoteles, más del 60 % de la energía necesaria para calentar el agua sanitaria doméstica, y también permiten calentar agua para otros usos, como calentamiento de piscinas, calefacción e incluso refrigeración.

Descripción de los sistemas de una instalación solar térmica

Sistema	Componente	Función
Captación	Captador solar	Captar la radiación solar y transformarla en energía térmica.
Acumulación	Depósito	Almacenar energía térmica.
Intercambio	Intercambiador	Realizar la transferencia de calor.
Hidráulico	Bombas, válvulas, tuberías, etc.	Transporte del fluido.
Regulación y control	Centralita diferencial, termostato, etc.	Regular el funcionamiento.
Apoyo	Caldera, termo, etc.	Garantizar el suministro de agua caliente sanitaria.

## Energía solar fotovoltaica

En cuanto a los sistemas de aprovechamiento de energía fotovoltaica, habitualmente vertiendo la energía producida a la red eléctrica, existen múltiples experiencias de instalaciones de este tipo en las ciudades. Desde instalaciones pequeñas, de 5 kW, en equipamientos públicos, escuelas o edificios de la administración, hasta grandes instalaciones como la instalada en el recinto del Forum 2004 de Barcelona, con 1,3 MW de potencia.

Las placas solares fotovoltaicas han mejorado su rendimiento progresivamente. Este hecho, junto con su fácil instalación y versatilidad, su bajo mantenimiento y mayor durabilidad, está generando un crecimiento importante de la generación eléctrica mediante esta tecnología que puede seguir en el futuro.



Planta solar fotovoltaica de 440 kW, instalada en el Forum 2004 de Barcelona

## Energía eólica

Por lo que respecta al aprovechamiento de la energía, son varias las ciudades que están apostando por construir parques eólicos (*windfarms*) en sus proximidades, incluso instalando pequeños molinos para abastecer a barrios periféricos. Sin embargo, hay que valorar adecuadamente la disponibilidad de viento, la viabilidad económica y el impacto sobre el medio.

El aprovechamiento de energía eólica mediante molinos permite una generación de electricidad relevante donde existe recurso, y permite usos complementarios a su alrededor. No obstante, debe evaluarse adecuadamente en su integración el impacto paisajístico, el impacto sobre las aves, la contaminación acústica o el impacto de los accesos al parque eólico.

El aprovechamiento de energía eólica mediante molinos permite una generación de electricidad relevante donde existe recurso, y permite usos complementarios a su alrededor. No obstante, debe evaluarse adecuadamente en su integración el impacto paisajístico, el impacto sobre las aves, la contaminación acústica o el impacto de los accesos al parque eólico.

### Experiencias en energía eólica

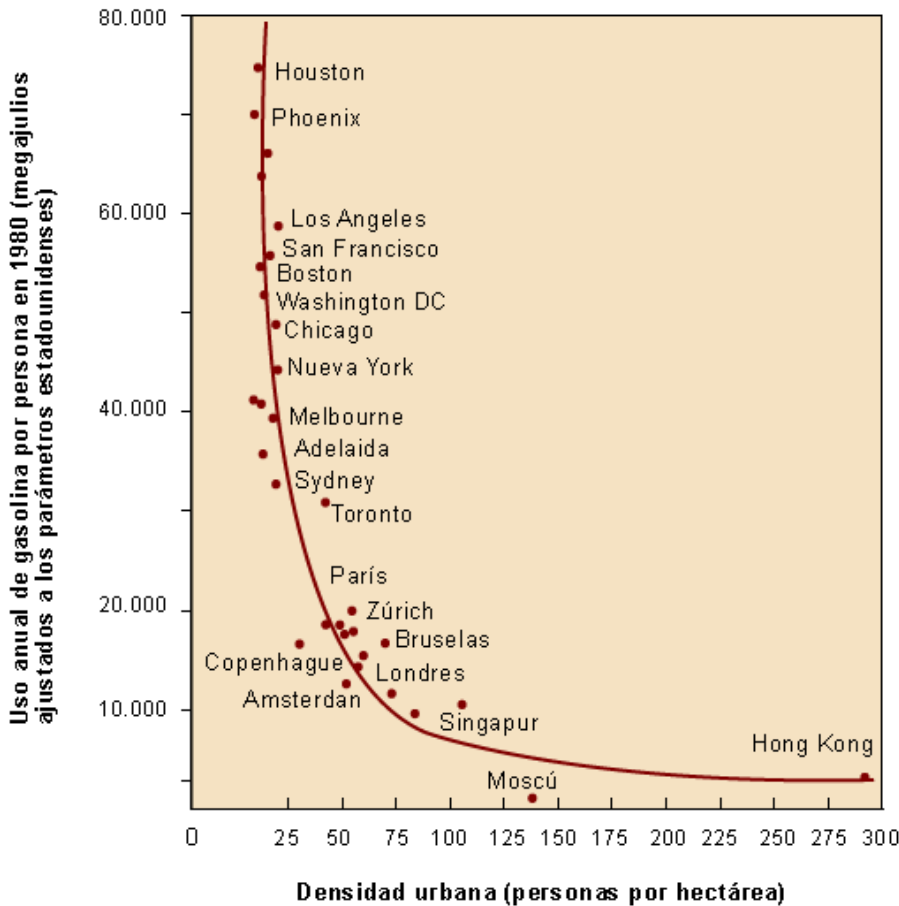
Algunas experiencias en este sentido son el distrito de Kronsberg en Hanover (Alemania), en el que han instalado 3 aerogeneradores con una potencia total de 3,6 MW, o el parque eólico urbano en el puerto de Bilbao (España).

## Energía proveniente de residuos urbanos

No hay que olvidar tampoco las posibilidades de la valorización energética de los residuos urbanos, que en muchas ciudades puede suponer uno de los mayores recursos de energía renovable más importante, ya sea a partir de los procesos de gasificación de los vertederos o de las depuradoras (biogás), o mediante la incineración o el tratamiento térmico. Esta última, sin embargo, tiene una eficiencia menor y un impacto ambiental considerable.

### 5.3. La eficiencia energética en los centros urbanos

La eficiencia energética de una ciudad depende en gran medida de su organización urbana. El modelo de ciudad dispersa y funcionalmente segregada (separación de barrios residenciales, zonas comerciales y áreas productivas) es energéticamente muy oneroso porque mantiene alejadas en el espacio usos que precisan estar funcionalmente cerca. El transporte suple el problema de la distancia, pero con elevados costes energéticos. La baja densidad residencial y/o la excesiva dispersión de destinos invitan al transporte motorizado individual, lo que incrementa el problema.

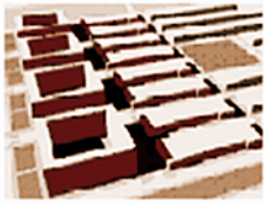


Consumo de gasolina y densidad en distintas ciudades del planeta

Es necesario, por tanto, apostar por ciudades compactas y de usos entremezclados, que al reducir las distancias eviten desplazamientos largos, y con medios de transporte que utilicen combustibles más limpios (gas natural) y de origen renovable (biocombustibles, electricidad e hidrógeno generado a partir de fuentes renovables) y más eficientes, lo que reducirá la demanda de transporte en vehículo privado.

Además, para poder aumentar la eficiencia, reducir el consumo y permitir el mayor aprovechamiento de las energías renovables, principalmente del sol, será necesario que al diseñar nuevos modelos urbanos se tengan en cuenta factores como la orientación de calles y de edificios, el control de la temperatura y la iluminación natural en espacios públicos, la adecuación a la topografía, la dirección e intensidad del viento, la vegetación y distribución de áreas verdes (mejora de la calidad del aire, retención de partículas, balance en temperaturas, sombreado, barreras de viento).





Modelo virtual de un estudio de sombras. Aunque la disposición de los edificios más altos provoca sombra, el ancho de calle permite disminuir el efecto frente a las edificaciones más bajas

Tipo de ciudad	Densidad de Población (vivienda/hectárea)	m <sup>2</sup> de zona de previsión de captación/hectárea
	alta (>120)	>130
	media (50-75)	80-200
	baja (25-50)	300-600
	muy baja (<25)	<375

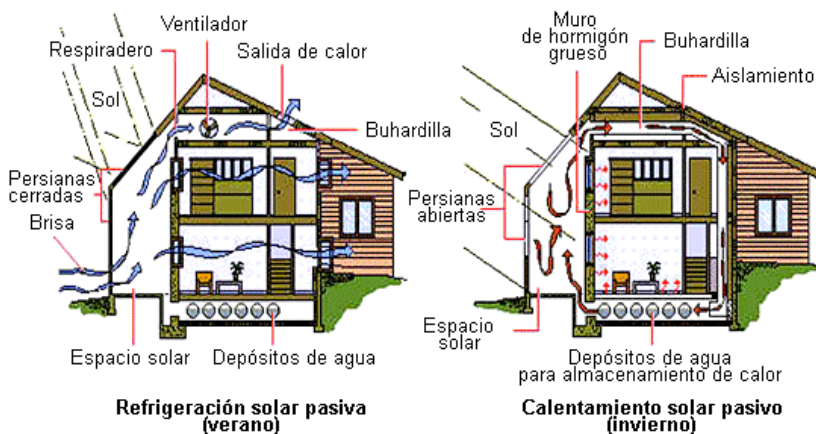
Factores para una construcción eficiente energéticamente

El consumo energético de las edificaciones en Europa representa el 40 % de la energía utilizada por sus habitantes y el 36 % de las emisiones de CO<sub>2</sub>, consumo de energía que sigue creciendo debido, por un lado, a la mayor demanda energética de quienes tratan de conseguir niveles de confort cada vez más altos mediante tecnologías que consumen energía. Para frenar este consumo desmesurado es necesario incidir en el ahorro energético en los edificios, mejorando sus rendimientos pasivos y activos.

**La eficiencia energética de los edificios**

La eficiencia energética en los edificios es una prioridad en las políticas energéticas de la UE en el marco del impulso de medidas para cumplir los objetivos sobre energía y cambio climático para el 2030 y 2050.

Así, la Directiva de eficiencia energética (2012/27/EU) y la Directiva de eficiencia energética en edificios (2010/31/EU) establecieron que todos los edificios (existentes o de obra nueva) objeto de transacciones inmobiliarias tienen que obtener un certificado de eficiencia energética, y que todos los Estados miembros deben adoptar políticas y planes para conseguir que los edificios de nueva construcción sean de energía prácticamente cero (NZEB).



Ejemplo de medidas pasivas para el ahorro de energía en climatización

No obstante, más allá de la generación de nuevas edificaciones con emisiones casi nulas, el gran reto de la mayoría de las áreas metropolitanas mundiales ya consolidadas es la rehabilitación energética del parque ya edificado; si no, la

reducción global de emisiones será imposible. Este reto se plantea más complejo y costoso, y en este sentido hará falta abordarlo de manera sinérgica, incorporando también criterios de habitabilidad e inclusividad.

La magnitud de este reto es tal, que hace necesaria la puesta en marcha de acciones urgentes y una planificación en el tiempo de más largo alcance con horizontes de regeneración en el 2050.

Finalmente, la complejidad del reto exige abordarlo desde la acción rehabilitadora, la articulación de medidas financieras y la comunicación y coordinación entre agentes.

Por otro lado, la propia administración local es consumidora y gestora de energía, por lo que le corresponde también aplicar gran parte de las medidas de ahorro y eficiencia energética en su ámbito. El instrumento más eficaz para una política urbana energética es desarrollar un «plan energético local», lo que significa apoyar el desarrollo de estrategias energéticas locales mediante una planificación racional y considerando unos principios de administración, como el puesto en marcha por ciudades como Barcelona, Berlín, Toronto, Fráncfort, Roma y Gotemburgo entre otras.

Por último, es necesario implicar a la ciudadanía en los programas de ahorro y en el conocimiento de producción/transformación y racionalización de la energía, lo que permite sensibilizar a los agentes sociales e introducir buenas prácticas en la utilización del recurso energético.

## 6. El tratamiento del metabolismo urbano

La insostenibilidad del modelo urbano de crecimiento y sus límites se pone en evidencia ya el año 1972 con la publicación del informe al Club de Roma sobre los límites del crecimiento (Meadows, 1972). El informe planteó evaluar la capacidad de carga del planeta si el ritmo de crecimiento, de explotación de recursos naturales y de contaminación se mantuviesen. La revisión de este informe en el año 1992 ya consideraba sobrepasada la capacidad de carga del planeta para mantener su población. Más adelante, Wakernagel & Rees (1996) profundizaban aún más en la relación entre el metabolismo urbano y la capacidad del territorio para sostenerlo generando una metodología para calcular el territorio necesario para mantener la actividad de una determinada población: la huella ecológica.

La insostenibilidad del modelo de crecimiento se hizo evidente y, por tanto, era necesario responder con una estrategia adecuada para revertir la situación. En este sentido, el Informe Brundtland (1987) y la convención de Río del año 1992 introducían el concepto de desarrollo sostenible y la necesidad de considerar la protección del medio ambiente como parte del proceso de desarrollo y no por separado. Se impulsaba el Programa 21 para hacer frente a las problemáticas ambientales desde el mundo local y, poco a poco, aparecían nuevos conceptos asociados a la mejora del metabolismo urbano y de su impacto sobre el planeta.

Desde entonces, la aparición de conceptos como la «ley de las 3R» (reducir, reutilizar y reciclar), evolucionada hasta el «modelo de las 7R» (repensar, rediseñar, reutilizar, reparar, remanufacturar, reciclar y recuperar), los recursos renovables, la economía circular, el *upcycling* o la economía baja en carbono, entre otros, han perseguido el objetivo de pasar de un modelo lineal de utilización de los recursos (consumo y desecho, explotación de los recursos de un lugar y deposición de sus residuos en otro) a un modelo circular (aprovechamiento de los residuos como nuevo recurso). Este paradigma pretende aplicar un concepto muy analizado desde la disciplina de la ecología (ciclo de la materia, ciclo de los nutrientes, ciclo del agua, ciclo de la energía, etc.) a los ecosistemas urbanos. De hecho, el término *residuo* es un concepto que no existe como tal en la mayoría de los ecosistemas naturales, en los cuales los materiales desechados por determinados organismos se convierten en recursos para otros.

Actualmente las iniciativas encaminadas a transitar hacia un modelo circular se multiplican. Desde el ámbito tecnológico, innovaciones como el *blockchain*, la digitalización o la fabricación con tecnología 3D persiguen conseguir una menor utilización y movimiento de materiales, a partir de la globalización y mejora de la transferencia de información. En el ámbito de la planificación de los usos del suelo existen iniciativas como el modelo PDR (*production, distribu-*

tion and repair), nacido en San Francisco, que reconoce el papel fundamental que pueden tener los espacios de actividad económica integrados en la trama urbana en el funcionamiento de las ciudades y las cadenas de valor que allí se producen. Por otro lado, en el ámbito de la gestión de los residuos existen ya objetivos fijados por la propia Unión Europea, que en la Directiva 2008/98/CE determina que en el año 2020 el 50 % de los residuos sean destinados a reciclaje y preparación para la reutilización.

El funcionamiento de la ciudad como organismo, como ecosistema, o asemejarla a una célula, es una disciplina en sí misma que aborda lo que conocemos como el **metabolismo urbano**, es decir qué ciclos se producen en las ciudades para que estas puedan existir tal y como las vivimos a diario.

Las ciudades deben incrementar la eficiencia energética de sus infraestructuras, de sus edificios, del transporte, de la iluminación, de sus servicios, deben utilizar los recursos de manera más efectiva como, por ejemplo, el suelo, el agua, reducir la producción de residuos. Las ciudades deben iniciar una revolución y reinventarse con criterios de resiliencia frente a problemas de escala global, que indudablemente provocarán impactos a escala local. La mejora de la eficiencia metabólica no puede relegarse exclusivamente a los cambios tecnológicos o la aplicación de las mejores tecnologías disponibles, sino que requiere un cambio más profundo, una tercera revolución industrial. Sin una nueva fuente energética y un componente fuerte de cambio social, cultural y de conciencia ecológica esta tercera revolución será un conjunto vacío.

Según Jeremy Rifkin, esta tercera revolución ya está aquí, a través del cambio tecnológico que suponen las TIC en la industria de la comunicación más una energía basada en renovables y en el hidrógeno. En todo caso, está por ver si las nuevas políticas como las estrategias de recuperación verde aceleran esta revolución y dan una respuesta efectiva a la crisis ambiental de carácter global que hace tiempo que está en marcha.

Las ciudades como motores del mundo actual deben liderar esta revolución reinventándose con criterios de eficiencia metabólica, y eso no puede conseguirlo solo un cambio tecnológico, sino que se requiere un cambio de mentalidad.

### 6.1. El concepto de metabolismo urbano

*Metabolismo* es un término ecológico que se refiere al funcionamiento de un organismo o sistema, que implica las relaciones internas a nivel de flujos de materia y energía así como su relación con el entorno.

#### Referencia bibliográfica

Rifkin, J. (2011). *La tercera revolución industrial*. Paidós.

Aunque su origen esté claramente relacionado con los sistemas naturales, los mismos términos se han utilizado desde los años sesenta aplicados a los sistemas urbanos e industriales por la necesidad de explicar y estructurar las complejas relaciones que también se dan en los sistemas antrópicos.

«Cities as viewed as organisms which require nutrients, energy, storage and produce waste. Raw material, fuel and water are transformed into the urban built environment, human biomass and waste» (*The metabolism of cities*, A. Wolman, 1965).

El análisis metabólico es, entonces, un modo de cuantificar todos los flujos (energía, materiales, recursos naturales y residuos) que entran o salen de un área urbana, que revela información valiosa sobre su eficiencia energética, ciclo de materiales, gestión de residuos e infraestructuras que le dan estructura.

A diferencia de los ecosistemas naturales, que cuanto más evolucionados están generan menos residuos (residuos para una especie son recursos para otra), hasta tender a **cerrar el ciclo** de materia, hoy en día los sistemas urbanos aún liberan una gran cantidad de residuos y consumen una gran cantidad (y creciente) de energía (mayoritariamente de origen fósil). La ecología urbana puede proporcionar un marco para acercarnos un poco más al funcionamiento de los sistemas naturales.

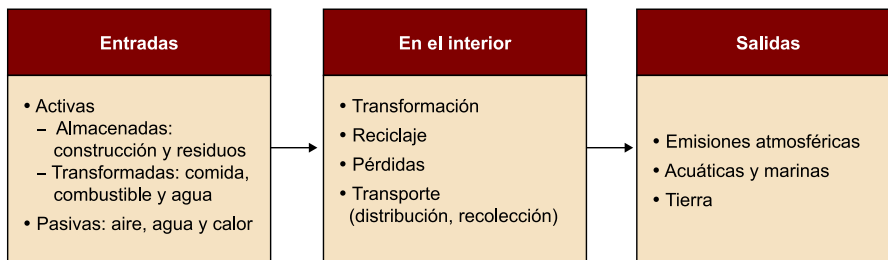
El conocimiento de los procesos de acumulación en el metabolismo urbano es esencial para el desarrollo sostenible de las ciudades. Así, el desarrollo sostenible se entiende como el desarrollo que permite la posibilidad de incrementar el flujo de materiales y energía locales sin llegar al límite de la capacidad de la biosfera de regeneración de recursos y asimilación de residuos.

Es importante comprender que el crecimiento es parte inherente del metabolismo urbano. El crecimiento de las ciudades y sus implicaciones a nivel de flujos de materia y energía dotan de complejidad a los sistemas urbanos. El proceso de crecimiento de los sistemas urbanos tiende a generar un incremento del *stock* que se debe gestionar y mantener.

Así como gran parte de la energía asimilada por los organismos vivos es disipada en forma de calor y no útil para el propio trabajo metabólico, los sistemas urbanos son también sistemas disipativos. La ineficiencia energética de las ciudades se debe a la pérdida y mezcla con residuos durante el uso del agua, la construcción, la combustión de combustibles fósiles y el desperdicio de comida. Parte de las pérdidas de energía no están contabilizadas y difícilmente se cuantifican en términos energéticos.

## 6.2. Aproximaciones metodológicas al metabolismo urbano

El metabolismo de las ciudades se analiza en términos de cuatro ciclos fundamentales: agua, materiales, energía y nutrientes. Lo que se pretende es analizar las entradas, las salidas y los procesos que suceden dentro del sistema.



Esta idea general es desarrollada por medio de diferentes aproximaciones, de las que las principales se explican brevemente a continuación:

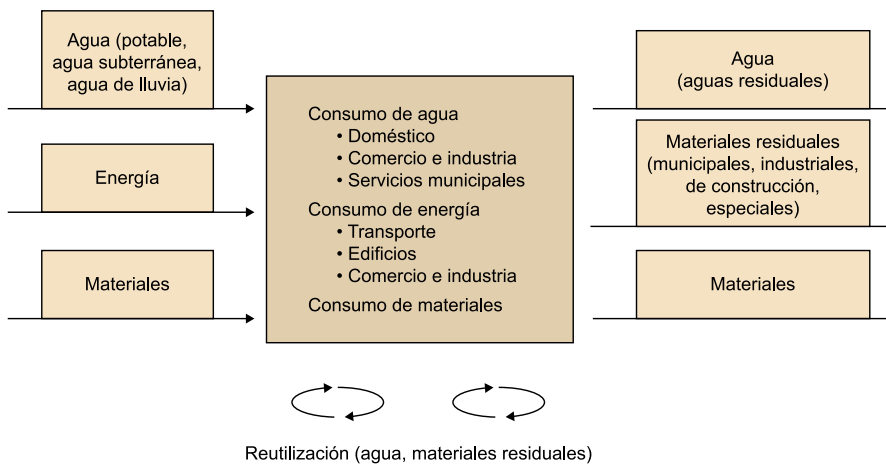
- *Life Cycle Assessment* (LCA). Estudia cuáles son los impactos asociados a un metabolismo de una sociedad y a su uso de materiales. Su utilidad no radica en contabilizar todos los impactos globalmente, sino en hacerlo por productos y procesos, con la finalidad de comparar distintas opciones y poder elegir la alternativa que genere menos impactos ambientales. El modelo se utiliza en ecología industrial.
- *General Systems Theory* (GTS). Todos los materiales, combustibles y procesos se convierten en unidades de energía. Los materiales se convierten en equivalentes de energía y los procesos en equivalentes de potencia. Esto permite la inclusión de factores (como las externalidades) que no se tratan en los análisis económicos, de modo que tiene un buen potencial para la integración interdisciplinar. Este método se utiliza típicamente para el estudio del flujo de energía en los sistemas bióticos.
- *Material Flow Analysis* (MFA). El análisis de flujos de materiales se basa en la contabilidad en unidades físicas (tn) de las entradas y salidas de material en relación a un sistema. El principio que rige los estudios de MFA es el balance de masas, o sea el equilibrio que existe entre entradas y salidas de materia. El término MFA agrupa los métodos *bulk-MFA* (*bulk-material flow accounting*) y *SFA* (*Substance Flow Analysis*). El uso de los dos métodos para el estudio del metabolismo urbano o industrial lleva implícito un enfoque hacia la mejora ambiental, aunque *bulk-MFA* se oriente a reducir todos los flujos de materiales y *SFA* se oriente a reducir o sustituir los flujos que son ambientalmente perjudiciales.

- *Input-output analysis*. Cuando en un *material flow analysis* los flujos son cuantificados monetariamente el método se llama análisis de entradas y salidas.

Además de los modelos generales, se pueden citar algunos ejemplos de modelos más específicos que se han utilizado para el análisis del metabolismo urbano. Se trata de modelos más adaptados a los casos de estudio, que concretan el análisis de los flujos que son de interés específico para cada caso:

- *Residuals-Environmental Quality Management (REQM)*. Modelo específico desarrollado específicamente para los problemas de contaminación regional y gestión de residuos. REQM cuantifica y modeliza la generación y flujo de *outputs* como residuos del sistema antrópico.
- *Metaland model*. El modelo considera el flujo total de materiales de los sistemas urbanos. En este sentido, el agua es el flujo dominante (69 % masa), seguido por el aire (15 %), los materiales de la construcción (8%) y el fuel (1 %). Los bienes se contabilizan en torno a un 8 % de masa de la región para exportación.
- *Air quality models*. Seguramente los modelos más complejos de simulación son los relacionados con la calidad del aire de las ciudades. Emisiones, meteorología, fotoquímica y microfísica de los aerosoles se deben introducir adecuadamente en los modelos.

Es cada vez más común el uso de los indicadores como *ecological footprint* y *carbon footprint* en relación con los sistemas urbanos. El indicador *ecological footprint* permite calcular el espacio que necesitaría un territorio determinado para poder mantener su modelo de desarrollo (en términos de obtención de recursos y asimilación de residuos) de manera ecológica. Se mide en hectáreas, pero a menudo se traduce en términos de CO<sub>2</sub> (*carbon footprint*), dado el contexto global de compromisos en relación con el cambio global y la reducción de gases de efecto invernadero. Estos indicadores establecidos para estimar el efecto de ciudades y países son cada vez más utilizados para valorar los efectos de conceptos más específicos por su fácil comprensión y su potencial pedagógico.



No obstante, trasladar esta lógica a los entornos urbanos no es sencillo. En las ciudades y áreas metropolitanas la concentración de demanda de consumo de recursos es tan elevada que reaprovechar la totalidad de su recurso acontece una tarea aparentemente imposible. Sí queda claro, no obstante, que cuanto más lineal, más intenso y más vinculado al exterior es el modelo de aprovechamiento de los recursos, más externalidades e impactos se generan al entorno, y esto acaba afectando a la calidad de vida de las personas, por el consecuente deterioro del medio receptor de estos flujos residuales.

El análisis del metabolismo urbano de las ciudades y metrópolis muestra que la circularidad es un reto clave que hay que lograr. El nivel de concentración de consumo de las ciudades y su rechazo es, ciertamente, tan elevado que requiere mucho tiempo y espacio para que el medio natural pueda asumir sus externalidades. No obstante, si progresivamente se desarrollan nuevas tecnologías y se adecuan los niveles de calidad del recurso a cada uso, una parte creciente de este gran volumen de rechazo puede devenir nuevo recurso y las metrópolis podrían reducir enormemente sus externalidades.

Queda un largo camino que recorrer en cuanto a la circularidad en las ciudades y las áreas metropolitanas. Ahora bien, si la circularidad pretende, finalmente, que los flujos de materia y energía se produzcan en entornos cada vez más locales y próximos; habrá que adaptar la planificación y el diseño de las redes que vehiculan buena parte de estos flujos ambientales. Solo así será posible una verdadera transición del modelo lineal actual a un modelo circular.



## Bibliografía

### Referencias bibliográficas

**Ash, C.; Jasny, B. R.; Roberts, L.; Stone, R.; Sugden, A.** (2008). Reimagining cities – Introduction. *Science* (vol. 319, núm. 5864, pág. 739).

**Boyden, S.; Millor, S.; Newcombe, K.; O'Neill, B.** (1981). *The ecology of a city and its people: the case of Hong Kong*.

**Captación Solar Térmica.** Anejo de la Ordenanza general de Medio Ambiente Urbano de Barcelona (1999): [www.barcelonaenergia.cat](http://www.barcelonaenergia.cat)

**Castán Broto, V.; Allen, A.; Rapoport, E.** (2012). «Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism». *Journal of Industrial Ecology*, vol. 16, n.º 6, págs. 851-861.

**Duvigneaud, P.; Denayeyer-De Smet, S.** (1977). «L'Ecosystème Urbs, in L'Ecosystème Urbain Bruxellois, in Productivité en Belgique». En: P. Duvigneaud; P. Kestemont (eds.). *Travaux de la Section Belge du Programme Biologique International* (págs. 581-597). Bruselas.

**Erza Park, R.** (1999). *La ciudad y otros ensayos de ecología urbana*. Barcelona: Ed. Del Serbal.

**Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank** (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*[en línea]. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> License: CC BY 3.0 IGO.

**Meadows, D.; Meadows, D.; Randers, J.** (2006). *Los límites del crecimiento 30 años después*. Editorial Galaxia Gutenberg.

**Rifkin, J.** (2011). *La tercera revolución industrial*. Paidós.

**Stern, N.** y otros (2006). Stern Review on the Economics of Climate Change. *HM Treasury*, London. Enlace en castellano: <http://www.catedracambioclimatico.uji.es/docs/informestern.pdf>

**Terradas, J.; Burriel J. A.** (2001). *Mapa ecològic de Barcelona*. En E. Castells; J. Terradas (eds.) Aula d'Ecologia. Cicles de conferències 1999 i 2000. Servei de Publicacions, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, págs. 145-148.

**UNFPA** (2009). State of world population 2009. Facing a changing world: women, population and climate.

**Wackernagel, M.; Rees, W.** (1996). «Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable—And why they are a key to sustainability». *Environmental Impact Assessment Review* (vol. 16, núm. 4-6, págs. 223-248).

