

## LA GESTION EFICAZ DE LOS RECURSOS NATURALES PARA DISMINUIR LOS IMPACTOS NEGATIVOS DE LA URBANIZACION

### Ester Higueras

Profesora de Urbanística y Ordenación del Territorio, ETSAM, UPM y del Master de Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática (MAyAB-UPM)



Este texto es un resumen del libro *El reto de la ciudad habitable y sostenible*, E. Higueras,

Editorial DAPP, 2009. Capítulo 2.

### Indice:

- La gestión de los recursos naturales,
- La capacidad de carga
- La adecuación entre la ordenación territorial y el medio ambiente
- La gestión sostenible del suelo: La densidad
  - o La paradoja de la realidad construida madrileña: espacios compactos con densidades dispersas
  - o La densidad sostenible.
- La gestión sostenible del agua en los entornos urbanos

### - La gestión eficaz de los recursos naturales

La planificación ambiental territorial es uno de los mecanismos más efectivos para prever impactos negativos sobre el territorio, ya que se está actuando "antes" de que las consecuencias sean perjudiciales e irreversibles sobre el mismo. Existe un doble enfoque, por un lado preventivo y por otro correctivo, que debería ser el objetivo final de los estudios de impacto ambiental así como los de incidencia ambiental, ahora obligatorios desde la legislación estatal vigente.

Cualquier intervención sobre el territorio deriva de un impacto. En la planificación ambiental el objetivo es conocer la naturaleza y el alcance de estos impactos con un doble objetivo: en primer lugar seleccionar la alternativa menos agresiva con el medio (Mac Harg 1960) y en segundo lugar establecer una gran batería de medidas

---

preventivas y correctoras intrínsecamente relacionadas tanto con el proyecto como con el medio donde este se va a localizar.

### **.- La capacidad de carga**

En el planeamiento, el cambio del uso del suelo, tiene unas consecuencias directas sobre el medio que es preciso conocer y evaluar, según la capacidad de acogida del territorio. La finalidad de tal valoración es la de realizar un informe de capacidad de acogida del territorio y obrar en consecuencia. **La capacidad de acogida** establece los límites de utilización del municipio basándose en la estructura de recepción de turistas, residentes y trabajadores, y su equilibrio con el medio natural. (Cortes, 2008)

La Organización Mundial del Turismo define **la capacidad de carga** como número máximo de personas que pueden visitar a la vez un lugar turístico, sin dañar el medio físico, económico o sociocultural, y sin reducir de manera apreciable la calidad de la experiencia de los visitantes , por ejemplo en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera, el número máximo de visitantes es de 200 personas al día; en las islas Medes (Torroella de Montgrí, en la Costa Brava) para practicar el submarinismo en un espacio tan frágil, se limita a 800 inmersiones por día.

La **capacidad de carga**, busca:

- .- en **islas**, limitar efectos del turismo sobre la cultura, las comunidades y los impactos sobre los recursos;
- .- en **áreas protegidas** se busca condicionar el uso de la infraestructura, restringiendo el acceso del número de turistas, y los flujos, buscando mejorar la percepción de la calidad de la experiencia turística.
- .- en **áreas rurales**, busca limitar los impactos en las comunidades locales y minimizar los efectos sobre las economías rurales y sus patrones sociales al visitante,
- .- en zonas de **turismo de montaña**, evitar consecuencias negativas de las instalaciones, los impactos y la congestión.
- .- en áreas de **valor patrimonial** se utiliza para limitar la generación de desechos, la congestión, el tráfico, y los cambios del uso de suelo urbano
- .- en el **área costera**, limita las densidades en el uso de playas e infraestructuras, evitando la congestión de instalaciones, y previniendo impactos ambientales sobre estos ecosistemas

Las primeras definiciones en torno la **capacidad de carga**, citadas por distintos autores , se refieren casi exclusivamente sobre el turismo y la atracción de visitas a un determinado territorio, concretamente :

**Tburot**, (1980) define como capacidad de carga turística como la “frecuentación turística que puede admitir continuamente el sistema socioeconómico regional sin que se modifique el nivel de: a) estructura económica; b) estructura sociales; c) cultural; d) medioambiental”

**Hovinen** (1982) define capacidad de carga como “el número máximo de los visitantes que pueden ser acomodados sin causar deterioro ambiental excesivo y sin conducir a una declinación en la satisfacción del visitante”

**Lindsay** (1986) “capacidad de carga turística para los parques nacionales, como la capacidad física, biológica, social y psicológica del ambiente para desarrollar actividad turística sin disminuir la calidad ambiental y la satisfacción del visitante.”

---

Actualmente el concepto se ha ampliado sustancialmente y se han valorado otros aspectos estrechamente relacionados con los anteriores. De esta forma se distingue entre:

1. Capacidad de carga ecológica (**CCe**): en ella se definen límites del nivel de desarrollo turístico o actividad recreacional, sobre los cuales el medio ambiente se deteriora
2. Capacidad de carga física (**CCf**): la cual limita la infraestructura de un lugar para acoger visitantes
3. Capacidad de carga social (**CCs**): el nivel máximo de tolerancia de la comunidad local,
4. Capacidad de carga económica (**CC\$**): la cual limita el desarrollo turístico (en términos de capacidad hotelera), con el fin permitir el desarrollo de otras actividades que se consideran de interés para el desarrollo económico de una localidad (O'Reilly 1991)
5. Capacidad de carga psicológica (**CCp**): la cual limita el nivel de uso recreacional en términos de cantidad de turistas y actividades, con el fin afectar a la calidad de la experiencia recreativa del visitante. (Pigram 1983)

En India, *Khanna* (1999) un grupo de investigadores *del National Environmental Engineering Research Institute*, desarrollaron una metodología basada en la capacidad de carga del territorio de Nueva Delhi, en la que definen el concepto de “**carga ecológica del territorio**”, evaluando en función de los impactos, en base a la identificación de “**Hots Spots**”. En este caso la capacidad de carga se utiliza en términos de aptitud, definiendo una intensidad de desarrollo, que se evalúa para predecir sus impactos, si la intensidad es mayor a las características de soporte de la región, el desarrollo tiene mayor riesgo de impactar al sistema.

También existe un amplio debate sobre la oportunidad de precisar estas limitaciones cuando cualquier procedimiento para su cálculo conlleva solidariamente importantes cargas de evaluación subjetiva, y además que es necesario la toma de decisiones muchas veces inducidas por factores externos (con frecuencia políticos y económicos) que llegan a desvirtuar cualquiera de las metodologías.

#### **.- La adecuación entre la ordenación territorial y el medio ambiente**

Se debe producir una interacción positiva entre los desarrollos residenciales y el medio en el que se proyectan. Si se proyecta ignorando los condicionantes del soporte y del clima, el resultado provocará una disfuncionalidad importante, mayores impactos sobre el suelo, la flora y la fauna, y una menor eficiencia del sistema urbano proyectado. Para lograr una interacción positiva entre ambos sistemas ( el natural del medio y el nuevo del medio urbano) se debe estudiar en detalle :

##### *La geomorfología:*

Condicionará las consecuencias derivadas del soporte así como las modificaciones locales generadas por el soporte territorial, la naturaleza de las rocas y características de los suelos, las pendientes y exposición a la radiación solar, que influirá en la disposición de la red viaria y de los espacios libres

determinantes de la ordenación urbana, así como la distribución general de la localización de los usos. En particular:

El relieve:

La *pendiente*: influye en la cantidad de radiación directa que se puede recibir y en la accesibilidad. La orientación de la pendiente es importante para los vientos y el régimen de pluviometría. A media ladera orientada el sur, hay mayor radiación solar que en zonas llanas

La *posición relativa*: protegida (en fondo de valle) o expuesta (en cimas o crestas). A más exposición mayores son las oscilaciones térmicas, temperaturas más frías, y mayores posibilidades de corrientes de viento e iluminación directa.

Las *obstrucciones*: La existencia de accidentes topográficos próximos y en orientaciones determinadas pueden suponer obstáculos para la radiación y ventilación.

Tipo de soporte:

Afecta a la reflexión de los rayos solares (albedo) y por tanto a la radiación directa sobre la edificación y además a la variación de la inercia térmica del mismo y con ello a la respuesta interior a las oscilaciones térmicas y relación entre la temperatura exterior y la interior. También su permeabilidad, varia los coeficientes de escorrentía superficiales y la capacidad de retener agua en el subsuelo.

#### *El agua superficial y la humedad ambiental*

La presencia de cursos de agua tendrá una especial importancia para la localización de las nuevas zonas verdes urbanas. La evaporación modifica las condiciones de humedad del aire y en el proceso se absorbe calor logrando un enfriamiento del ambiente. Hay que considerar el balance entre precipitación y evaporación, ya que en los meses calurosos la alta evaporación, y nula precipitación puede hacer necesaria una extraordinaria aportación de agua para refrescar el ambiente. El alto calor específico del agua, la convierte en un elemento estabilizador de la temperatura disminuyendo sus oscilaciones extremas en zonas próximas a superficies de agua (lagos, lagunas, etc).

Se define la evaporación como la vaporización de un líquido en la superficie que le separa de la fase gaseosa con la cual está en contacto. Por otra parte la transpiración es un proceso consistente en la eliminación por evaporación de una parte del agua absorbidas por las plantas. Estas dos definiciones introducen el concepto de evapotranspiración, que combina los dos procesos descritos, refiriéndose a la pérdida de agua desde una superficie con cubierta vegetal<sup>1</sup>.

La vegetación, el sol y el viento, también determinarán los condicionantes del territorio, que deberán respetarse para proyectar con la naturaleza.

Tras los estudios de idoneidad del soporte, podemos diferenciar **dos grandes tipos de suelos**: por un lado aquellos destinados a urbanizarse para el crecimiento urbano y las infraestructuras que conllevan, y por otro lado aquellos suelos libres de usos constructivos (zonas verdes, espacios libres o suelos vacíos). Por tanto, diferenciaremos entre:

---

<sup>1</sup> Elías Castillo, Francisco coord. Castellví Sentís, Francesc coord. "Agrometeorología". Madrid. Mundi – Prensa Libros. 2001

1.- Suelos oportunos para ser edificados o para infraestructuras  
Cuyas condiciones físico ambientales deberán ser: suelos con pendientes inferiores al 10%, fuera de las zonas de servidumbres de los cursos de agua superficial, en zonas de buena capacidad portante, liberando las zonas de vaguadas, lejos de zonas con elementos vegetales de porte o interés significativo, en laderas orientadas al sur o sur-este; y alejadas de vientos fríos dominantes.

2.- Suelos oportunos para espacios verdes o suelos protegidos  
Cuyas condiciones físico ambientales son precisamente las opuestas a las detalladas anteriormente: suelos quebrados o con pendientes superiores al 10%, cerca de los cursos de agua principales, sin necesidad de tener capacidad portante, con vegetación existente relevante o que puede ser potencialmente regenerados, etc.

De esta forma, se aprecia como ambos sistemas son excluyentes en casi todos los factores relevantes, siendo compatibles en otras características de menor importancia a determinar por el equipo redactor de cada ordenación residencial. Esta es una de las claves para buscar la adecuación perseguida, y proyectar en base a los condicionantes del medio.

#### **.- La gestión sostenible del suelo: la densidad**

Existe un amplio debate sobre la densidad de las ordenaciones residenciales y sus consecuencias sobre la sostenibilidad. La densidad es factor clave de sostenibilidad, y tiene consecuencias directas sobre: <sup>6</sup>

- .- la ocupación de suelo. A mas suelo ocupado por la misma población, menor eficiencia del empleo del suelo urbanizado como recurso. Gasto en trazado, ejecución y mantenimiento de redes e infraestructuras.
- .- la congestión urbana. La población dispersa, genera un uso masivo del automóvil para sus actividades cotidianas, y colapsa las entradas a centros de trabajo, comercio, ocio, educativos, etc. coincidiendo en puntas horarias para las cuales nunca hay suficiente viario para su movilidad.
- .- el uso de transporte público eficaz. La población dispersa hace inviable una gestión eficaz de la red de transporte público, por lo que se incentiva el uso del vehículo privado, provocando una mayor dispersión de actividades.
- .- la complejidad. Las zonas dispersas monofuncionales y con una única tipología edificatoria , se convierten en vulnerables, homogéneas y poco diversas. Precisamente los atributos de sostenibilidad son la complejidad, y la diversidad, como factor de éxito frente a cualquier eventualidad externa o interna que pudiera poner en riesgo el sistema.
- .- la variedad dotacional. La población dispersa condiciona la existencia de dotaciones próximas a sus residentes, ya que no existe masa poblacional suficiente para un adecuado funcionamiento.

El debate de la forma urbana de la ciudad sostenible y su ocupación en el territorio, es decir su **densidad**, enfrenta dos modelos, el modelo de la ciudad compacta y el de la

---

<sup>6</sup> R. López de Lucio "Cuidad y Urbanismo a finales del siglo XX" Universidad de Valencia 1993.

---

ciudad difusa.<sup>2</sup> Ninguno de los dos modelos reúne solo ventajas, sino que existen elementos más y menos eficientes, estrechamente relacionados con la densidad y modelo de ordenación de cada una de ellas. Los dos modelos en sus extremos son completamente ineficientes. Así podemos encontrar argumentos en contra de la ciudad compacta<sup>3</sup> que aluden a la desventaja de las congestiones relacionadas con la densidad; que las telecomunicaciones permiten hoy una alejamiento de las zonas centrales para realizar numerosas funciones que se deben aprovechar; que el concepto de ciudad-verde está en contradicción con el de ciudad compacta, ya que en esta las zonas verdes son escasas y en muchos casos residuales o casi imposible de mejorar o incrementar; que se producen inevitablemente segregaciones de población debido a la carestía del suelo urbano; que el aprovechamiento de energías pasivas es más factible en viviendas aisladas o adosadas ; que se producen inevitablemente concentraciones de poder y riqueza aumentándose la desigualdad social entre los ciudadanos.

Sin embargo, la experiencia de las regiones europeas con procesos de descentralización, han puesto de manifiesto el aumento de los viajes pendulares, de los consumos y emisiones contaminantes, además de importantes problemas de congestión.

Varios estudios experimentales demuestran, las ventajas del modelo centralizado frente al disperso. Por ejemplo, Peter Calthrope<sup>4</sup> ha demostrado empíricamente la evidencia de que al aumentar la densidad se reducen los desplazamientos. O dicho de otra forma, a menor densidad urbana más consumo per capita de energía. El profesor Peter Naes, por otra parte, ha realizado estudios experimentales sobre la región metropolitana de Oslo, (1996). Concluye que la forma de la ciudad puede estar directamente relacionada con el consumo energético, y de ahí que resulten unas formas urbanas más sostenibles que otras comparativamente.<sup>5</sup>

1. una alta densidad de la ciudad, entendiéndola en su totalidad, significa menores consumos energéticos. También en la escala local es oportuno esta alta densidad para reducirlos.
2. una alta densidad de las áreas que componen la ciudad en sus diferentes zonas homogéneas , esto es la ciudad como suma de partes densas es más favorable frente a otras opciones formales.
3. una distribución centralizada de viviendas dentro de la zona urbana principal (o centro de comercio y actividades)
4. una distribución centralizada de los puestos de trabajo dentro de las partes consolidadas o centrales de la ciudad
5. unas concentraciones descentralizadas en la escala regional, configurando una red de ciudades interconectadas eficazmente por ferrocarril o transportes no contaminantes.
6. una elevada población de la ciudad.

En los estudios citados, se estima que un trabajador que viva cerca de su puesto de trabajo emite 630 kilos menos de CO<sub>2</sub> anualmente, comparado con otro que viva a las afueras. La diferencia también se traduce en 7,2 kilos menos anuales de NO<sub>2</sub>. Además

---

<sup>2</sup> Extraído del libro *La ciudad contemporánea* , Abel Enguita y Ester Higueras, Ed. CEIM 2007.

<sup>3</sup> Breheny (1992), Knights (1996), Van der Valk and Faludi (1992), Green (1996),

<sup>4</sup> *Sustainable Communities*, Sim Van der Ryn and Peter Calthrope. 1986. Sierra Club,...*Bulletin of Science Technology Society*.1988; 8: 348-349

<sup>5</sup> Naes P. *Forma urbana y consumo energético*. 1996

de reducir stress, congestión, ruido, etc. Por tanto, parece que la concentración urbana tiene ventajas sobre el consumo energético de la ciudad.

Las principales referencias de la UE en materia de medio ambiente urbano y de fomento de ciudades sostenibles tampoco dudan en plantear el mejor comportamiento de las ciudades compactas, lo importante ahora es tratar de cuantificar y establecer referencias de densidades.

### **.- La paradoja de la realidad construida madrileña: espacios compactos con densidades dispersas.**

La ciudad contemporánea se caracteriza por un progresivo aumento de la superficie de suelo residencial en periodos en los cuales la tasa demográfica se ha mantenido estable o negativa. En Madrid concretamente, los suelos urbanizados han experimentado un importante aumento en superficie en las últimas décadas, verificando el fenómeno de la dispersión, en periodos con tasa de natalidad estable o regresiva. Todos los nuevos crecimientos residenciales de Madrid, apuestan por el modelo de "ciudad compacta", ya que se formalizan por grandes manzanas residenciales de cinco o seis alturas, en una retícula de calles. Pero la realidad evidencia, que no se ha generado un tejido compacto sino uno disperso con densidades entorno a 30 viv/Ha que implican todas las disfuncionalidades del modelo disperso.

Los aprovechamientos brutos previstos en estos nuevos desarrollos residenciales madrileños oscilan en torno a 0,40 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. Este aprovechamiento es un poco bajo, ya que *"Densidades de 0,50-0,55 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> se consideran normales y generalizadas en operaciones análogas de ciudades europeas y americanas, como las mínimas para conseguir con la ordenación y edificación resultante, la tensión urbana imprescindible para obtener barrios con vida social."*<sup>6</sup>

- 1º. Desarrollo residencial de MONTECARMELO : Densidad 33,40 viv/Ha
- 2º. Desarrollo residencial de LAS TABLAS: Densidad 33,80 viv/Ha
- 3º. Desarrollo residencial de SANCHINARRO : Densidad 33,10 viv/Ha
- 4º. Desarrollo residencial de CARABANCHEL Densidad 31,80 viv/Ha
- 5. Desarrollo residencial del ENSANCHE DE VALLECAS : Densidad 35,39 viv/Ha
- 6º. Desarrollo residencial de ARROYO FRESNO : Densidad 18,53 viv/Ha

Las densidades de los nuevos ensanches madrileños son medias-bajas, oscilan en una media de 30 viv/Ha de densidad bruta, cuentan con un 20% a un 30% del suelo destinado a zonas verdes y con una reserva para viario por encima del 35%, todas condiciones que hacen que el espacio urbano de la calle aparezca disuelto, y no se tenga ninguna de las ventajas del crecimiento de la ciudad compacta. En los desarrollos de las poblaciones más próximas a Madrid se repite esta sintomatología<sup>7</sup>:

- 2º. Desarrollo residencial de GETAFE SUR: Densidad 21,70 viv/Ha
- 3º. Desarrollo residencial de GETAFE NORTE : Densidad 39,0 viv/Ha

---

<sup>6</sup> URBANISMO COAM nº 24, 2000.

<sup>7</sup> URBAN nº 9, 2003, artículo de "Morfología y características de las nuevas periferias . Nueve Paisajes residenciales en la región urbana de Madrid". Ramón López de Lucio

- 4º. Desarrollo residencial de LEGANES NORTE Densidad 48,6 viv/Ha
- 5. Desarrollo residencial del CIUDAD JARDÍN LORANCA en Fuenlabrada :  
Densidad 37,40 viv/Ha

#### **.- La densidad sostenible.**

Para reconducir esta tendencia se precisan importantes cambios que deben considerar desde las perspectivas financiera, social, pública y de la planificación urbana y territorial integradamente. Es necesario por un lado, no hipotecar la movilidad de los ciudadanos para sus diversas actividades, proporcionar suficientes espacios verdes y considerar el desarrollo estratégico regional; pero por otro lado es necesario reducir los recorridos en vehículos privados para gastar y contaminar menos, y esto solo se puede conseguir con una adecuada redistribución de los **usos del territorio y de la forma de la ciudad global y de sus diferentes partes**

La densidad apropiada, debe estar equilibrada entre los modelos excesivamente dispersos de 20 vivi/Ha, hasta los excesivamente densos ( de más de 100 viv/Ha). Numerosos autores (Lynch, Naes, UE, ) establecen **en 60-70 viv/Ha**, (unos 200-250 habitantes por Ha), como el umbral óptimo para reunir las ventajas enumeradas de la ciudad compacta, y no caer en el peligro de la congestión. Además establecer la densidad es requisito necesario pero no suficiente, ya que habría que relacionarla con la variación de tipologías edificatorias, y un óptimo equilibrio con zonas verdes, viario y dotaciones que pueden disolver las ventajas del modelo compacto, tal y como está pasando en las ordenaciones residenciales madrileñas de los últimos años. Además será preciso considerar los requerimientos del urbanismo bioclimático <sup>8</sup> para avanzar hacia una nueva forma de organización de los desarrollos residenciales del siglo XXI.

El adecuado modelo de la ciudad del futuro, (a las escalas territorial y urbana), debe ser específica para cada soporte, de acuerdo con sus características propias (ambientales, sociales, climáticas, económicas, etc) tratando siempre de garantizar la reducción de los impactos medio ambientales sobre el suelo, el aire o el agua. Autores como H.Frey (1999) <sup>9</sup> o P.Naess (1996), proponen como ideal una mezcla entre formas compactas y difusas según sea la escala de ordenación. Es decir, disponer estructuras formales compactas en la escala urbana local, organizadas mediante estructuras de formas difusas (en estrella, radiales, mallas o retículas) en la escala regional o metropolitana, unidas por eficaces medios de transporte no contaminante. Esta solución permite una buena accesibilidad equilibrada con amplios espacios abiertos intersticiales entre las diferentes ciudades compactas, y a su vez un adecuado control sobre el uso y eficiencia del transporte.

#### *.- Problemas al establecer la densidad sostenible de referencia:*

Es preciso considerar la enorme diferencia que existe actualmente entre las densidades bruta y neta de los desarrollos residenciales.

---

<sup>8</sup> Se entiende por el concepto de Urbanismo Bioclimático, aquella forma de planificación en la que las variables del territorio, el clima y el ambiente entran a formar parte decisiva en el proceso de diseño y gestión urbana. Se podría resumir en una frase: A CADA LUGAR UNA PLANIFICACIÓN. *Urbanismo bioclimático*, Ester Higuera, editorial GG. 2006

<sup>9</sup> H.Frey, *Designing the city. Towards a more sustainable urban form*. London 1999, Epsom & FN Spoon.



Debido al número creciente de vías, rotondas, infraestructuras y también a las zonas verdes, medianas, bordes ajardinados, etc, las diferencias entre densidad bruta (viviendas sobre el total del suelo) y densidad neta (número de viviendas solo sobre el suelo residencial, descontando viario, zonas verdes y suelos dotacionales) es digna de tenerse en cuenta. Por tanto, las **60-70 viv/Ha** deben ser consideradas como densidad neta, o al menos descontados los sistemas generales (que no los locales) de una ordenación residencial.<sup>10</sup>

### **.- La gestión sostenible del agua en los entornos urbanos**

Para tratar reproducir la hidrología natural de la cuenca de estudio, es necesario establecer una cadena de gestión de la escorrentía. Las técnicas de los Suelos Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), deben combinarse y enlazarse para alcanzar los objetivos globales establecidos para el sistema. A continuación incluimos los principios generales a tener en cuenta, las implicaciones para el diseño de las redes y para los diferentes usos: edificios, zonas verdes, red viaria.<sup>11</sup>

Los objetivos de los SUDS se podrían resumir en los siguientes aspectos :

- *Proteger los sistemas naturales*: proteger y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos.
- *Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje*: maximizar el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.
- *Proteger la calidad del agua*: proteger la calidad de las aguas receptoras de escorrentías urbanas.
- *Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta*: reducir caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y minimizando áreas impermeables.
- *Incrementar el valor añadido minimizando costes*: minimizar el coste de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumenta el valor del entorno.

La reducción de volúmenes de escorrentía y caudales punta puede solucionar la incapacidad hidráulica de la red de colectores convencional debida al crecimiento urbano no previsto en las fases de planificación de la misma. Con esto puede evitarse la necesidad de desdoblamiento de la red convencional o el hecho de tener que asumir inundaciones más frecuentes. Por otra parte, la reducción del volumen de escorrentía y caudales punta redundará en un mejor funcionamiento de las estaciones depuradoras, al darse las siguientes condiciones:

- Reducción de costes al reducirse el volumen de los influentes en las mismas.
- Reducción de costes al no alterarse frecuentemente el patrón de contaminantes para el que la depuradora ha sido diseñada.
- Reducción del número de vertidos (DSU) a la entrada de la depuradora por incapacidad de la misma.

<sup>10</sup> López Candeira, *Diseño Urbano*, Ed. Munilla Leira 1999.

<sup>11</sup> "LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE:UNA ALTERNATIVA A LA GESTIÓN DEL AGUA DE LLUVIA". V Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Sevilla Noviembre 2007. SARA PERALES MOMPALER(1), IGNACIO ANDRÉS-DOMÉNECH(2)

(1) PMIngeniería, Avda. Aragón 18-1º-1, 46021 Valencia. [sperales@pmingenieria.com](mailto:sperales@pmingenieria.com)

(2) Dep. Ing. Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.

Edificio 4E. Cno. de Vera s/n, 46022 Valencia. [igando@hma.upv.es](mailto:igando@hma.upv.es)

#### Principios generales:

- Detención y laminación de la escorrentía en origen y durante su transporte al punto de almacenamiento, de manera que se aumente el tiempo de concentración y se disminuya el caudal pico transportado;
- Aprovechamiento de las zonas verdes, con un diseño adecuado, como sistemas de transporte, laminación, tratamiento y almacenamiento del agua en superficie.
- Maximización de la utilización de pavimentos permeables en la urbanización, tomando como parámetros mínimos los establecidos por la "Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid"
- Captación de la escorrentía en la red viaria mediante técnicas de filtración (en lugar del uso de los imbornales tradicionales), de manera que se elimine la necesidad de depuración posterior de dichas aguas previamente a su utilización como recurso hídrico alternativo (utilizando además métodos de transporte que contribuyen a la mejora de su calidad);
- Separación en las bajantes de los edificios de la red de aguas grises no depuradas de la red de pluviales, para evitar la contaminación de éstas últimas (que están limpias debido al modo de captación);
- Aplicación de un tratamiento terciario a las aguas grises previo a su almacenamiento en los depósitos de agua no potable; para su utilización como agua regenerada.
- Reutilización del agua regenerada para riego de zonas verdes, baldeo de calles, y abastecimiento de estanques y fuentes ornamentales;

Posible reutilización del agua no potable para la recarga de las cisternas de los inodoros en los equipamientos y edificios públicos.

Los SUDS engloban un amplio espectro de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales dando tanta importancia a los aspectos medioambientales y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos.

Pero la utilidad de estas medidas va más allá de la gestión de las escorrentías urbanas en tiempo de lluvia. El sistema concebido inicialmente para resolver problemas en tiempo húmedo, es además útil para gestionar otros tipos de escorrentía superficial en tiempo seco, como la producida por sobrantes de riego, baldeo de calles, vaciado de fuentes y estanques ornamentales, etc.

En este sentido, cabe mencionar la posibilidad de reutilización de las aguas grises de edificios (aguas provenientes de lavabo, bidet, ducha y bañera), que con un mínimo tratamiento (bien por medio de técnicas SUDS o con pequeños equipos de

depuración), podrían aportar un caudal constante de abastecimiento para ciertos usos que no requieren la calidad de agua potable, como por ejemplo las cisternas de los inodoros o el riego de superficies ajardinadas.

Desde esta perspectiva, el empleo de SUDS no sólo mejora la gestión de las aguas pluviales, sino la gestión del agua en general, tanto en cuanto al abastecimiento como al drenaje y posterior tratamiento.

Las tipologías más utilizadas son las siguientes:

• **Cubiertas vegetadas**

Sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo. Están concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Además retienen contaminantes, actúan como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto “*isla de calor*” que se produce en las ciudades.

• **Superficies Permeables**

Pavimentos que permiten el paso del agua a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. Existen diversas tipologías, entre ellas: césped o gravas (con o sin refuerzo), bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosos, pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.).

• **Franjas Filtrantes**

Franjas de suelo vegetadas, anchas y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía (curso de agua o sistema de captación, tratamiento, y/o evacuación o infiltración). Propician la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración y disminución de la escorrentía.

• **Pozos y Zanjas de Infiltración**

Pozos y zanjas poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante

(granular o sintético), a los que vierte escorrentía de superficies impermeables contiguas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber totalmente la escorrentía generada por la tormenta de diseño para la que han sido diseñadas.

• **Drenes Filtrantes o Franceses**

Zanjas poco profundas rellenas de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte, concebidas para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas hacia aguas abajo. Además pueden permitir la infiltración y la laminación de los volúmenes de escorrentía.

• **Cunetas Verdes**

Estructuras lineales vegetadas de base ancha (> 0,5 m) y talud tendido (< 1V:3H) diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía. Deben generar bajas velocidades (< 1-2 m/s) que permitan la sedimentación de las partículas para una eliminación eficaz de contaminantes. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.

• **Depósitos de Infiltración)**

Depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas. Se promueve así la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante

filtración, adsorción y transformaciones biológicas.

• **Depósitos de Detención *En Superficie***

Depósitos superficiales diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba, laminando los caudales punta. Favorecen la sedimentación y con ello la reducción de la contaminación. Pueden emplazarse en “zonas muertas” o ser compaginados con otros usos, como los recreacionales, en parques e instalaciones deportivas.

• **Depósitos de Detención *Enterrados***

Cuando no se dispone de terrenos en superficie, o en los casos en que las condiciones del entorno no recomiendan una infraestructura a cielo abierto, estos depósitos se construyen en el subsuelo. Se fabrican con materiales diversos, siendo los de

hormigón armado y los de materiales plásticos los más habituales.

• **Estanques de Retención**

Lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1,2 y 2 m) con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida. Están diseñadas para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía (2-3 semanas), promoviendo la sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación. Contienen un volumen de almacenamiento adicional para la laminación de los caudales punta.

• **Humedales**

Similares a los anteriores pero de menor profundidad y con mayor densidad de vegetación emergente, aportan un gran potencial ecológico, estético, educacional y recreativo.