

fundació (fòrumambiental ●●

# Modelos e Indicadores para ciudades más sostenibles

*Taller sobre Indicadores de Huella  
y Calidad Ambiental Urbana*

*con la colaboración de*



Generalitat de Catalunya  
Departament de Medi Ambient

Agencia Europea de Medio Ambiente





fundació (fòrumambiental ●●

# Modelos e Indicadores para ciudades más sostenibles



Autor del Documento:

Salvador Rueda Palenzuela (1999)

Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya

Este documento de trabajo se inscribe en el marco del Taller sobre *Indicadores de Huella y Calidad Ambiental Urbana* realizado en marzo de 1999 y en el cual participaron como ponentes:

Sr. Juan Ras, *Presidente de la Fundación Fòrum ambiental*

Sr. Domingo Jiménez Beltrán, *Director de la Agencia Europea del Medio Ambiente*

Sr. Salvador Rueda, *Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya*

Sr. Friedrich Hinterberger, *Wuppertal Institute*

Sr. Josep Maria Salas, *Departamento de Economía de la Empresa de la Universidad Autónoma de Barcelona*

Sr. Josep Lluís Salazar, *Agencia Europea del Medio Ambiente*

Sr. Pere Torres, *Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya*

Los derechos sobre este documento son de la Fundació Fòrum Ambiental.

Se da derecho explícito para reproducir total o parcialmente el documento siempre y cuando se cite su fuente.

<b>PRESENTACIÓN</b>	7
<b>1. MODELOS E INDICADORES URBANOS</b>	11
<b>2. INTRODUCCIÓN A LA UNIDAD SISTEMA-ENTORNO</b>	11
2.1. <b>DESCRIPTORES, INDICADORES E ÍNDICES URBANOS</b>	11
2.1.1. DESCRIPTORES URBANOS	11
2.1.2. INDICADORES E ÍNDICES URBANOS	11
2.1.3. LA INCLUSIÓN DE LOS INDICADORES EN ESTRUCTURAS ANALÍTICAS COMUNES: EL MODELO PRESIÓN-ESTADO-RESPUESTA (P-E-R)	12
2.1.4. LA INCLUSIÓN DE LOS INDICADORES URBANOS EN MODELOS TEÓRICOS INTEGRADORES: EL MODELO SISTEMA-ENTORNO	13
2.1.5. LOS MODELOS DE GESTIÓN EN LA UNIDAD SISTEMA-ENTORNO	15
2.1.6. ESQUEMA GRÁFICO DE LA UNIDAD SISTEMA-ENTORNO	15
<b>3. MODELOS E INDICADORES URBANOS DE OCUPACIÓN DEL TERRITORIO:     LA CIUDAD COMPACTA Y LA CIUDAD DIFUSA</b>	16
<b>4. EL METABOLISMO URBANO</b>	21
4.1. <b>ENERGÍA: MODELOS E INDICADORES</b>	21
4.1.1. ENERGÍAS RENOVABLES: ESTRATEGIA DE LA BIOSFERA PARA SU SOSTENIBILIDAD	21
4.1.2. EL CONSUMO DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS URBANOS	21
4.2. <b>LA GESTIÓN DEL AGUA: MODELOS E INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD</b>	23
4.2.1. ¿ATENDER LA OFERTA O REGULAR LA DEMANDA?	23
4.2.2. LA APROPIACIÓN HUMANA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	23
4.2.3. EL MODELO DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y EL CONSUMO DE AGUA	24
4.2.4. LAS MEDIDAS DE AHORRO DEL AGUA	24
4.2.5. EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA REUTILIZADA, DE LLUVIA Y DE ACUÍFERO: REDES SEPARATIVAS Y DEPÓSITOS DE LAMINACIÓN	24
4.2.6. LA DEPURACIÓN DEL AGUA	26
4.3. <b>MODELOS E INDICADORES PARA UNA GESTIÓN DE RESIDUOS         MÁS SOSTENIBLE</b>	26
4.4. <b>MODELOS DE GESTIÓN URBANOS Y SUS EMISIONES         A LA ATMÓSFERA</b>	28
4.4.1. EMISIONES A LA ATMÓSFERA: CAUSAS	28
4.4.1.1. Las emisiones atmosféricas y el modelo energético	28
4.4.1.2. Modelos de ciudad y contaminación atmosférica	29
4.4.1.3. Las emisiones de las actividades industriales	29
4.4.1.4. Las emisiones generadas por los servicios	29
4.4.2. EMISIONES A LA ATMÓSFERA: CONSECUENCIAS	29
4.4.2.1. Incidencia de las emisiones antropogénicas en el sistema atmosférico	29
4.4.2.2. Incidencia de las emisiones en la atmósfera urbana	30

<b>5. APROPIACIÓN HUMANA DE LOS RECURSOS NATURALES: CAPACIDAD DE CARGA E INDICADORES AFINES</b>	32
5.1. LA CAPACIDAD DE CARGA	32
5.2. LA HUELLA ECOLÓGICA	33
5.3. LA APROPIACIÓN HUMANA DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA (PPN)	33
5.4. LA MOCHILA ECOLÓGICA (MIPS)	33
5.5. EROI	34
<b>6. DEBATE Y CONCLUSIONES</b>	34
6.1. LAS CUESTIONES DEBATIDAS	34
6.2. CONCLUSIONES EXTRAÍDAS DEL TALLER	34
6.3. CUESTIONES PARA FUTUROS DEBATES	35
6.3.1. CUESTIONES REFERENTES AL MODELO DE CIUDAD	35
6.3.2. CUESTIONES DE APROPIACIÓN HUMANA DE LOS RECURSOS NATURALES: CAPACIDAD DE CARGA E INDICADORES AFINES	35
6.4. LAS OPORTUNIDADES ECONÓMICAS QUE OFRECE UN MODELO DE CIUDAD MÁS SOSTENIBLE	36
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	37

## PRESENTACIÓN

*Tenéis en vuestras manos un material singular por su contenido, por su gestación y por su presentación formal. Centrémonos en su contenido: los indicadores de ecoeficiencia urbana. Sabemos que el modelo de desarrollo nacido de la Revolución Industrial reclama una profunda revisión. Nos ha ofrecido bienestar y calidad de vida, pero empiezan a pesar más sus debilidades que sus aportaciones. Entre las debilidades, las dos más destacadas son la presión excesiva sobre los recursos naturales y sobre los servicios vitales que nos presta el medio y la incapacidad de extender el bienestar a toda la humanidad y de garantizarlo a las generaciones futuras. Por todo ello, hoy buscamos alternativas viables. Las conferencias intergubernamentales para debatir cuestiones relativas al medio ambiente y al desarrollo son las que captan más atención, tanto política como mediática y social. Es signo de una preocupación cada vez más generalizada.*

*Necesitamos respuestas. Y sabemos que nos es más fácil identificar aquellas pautas que ponen en peligro la continuidad del desarrollo que establecer con certeza como sustituirlas. Esto no debe inhibirnos de la acción, pero nos aconseja medir el efecto de nuestras decisiones. Aquí juegan un papel clave los indicadores, es decir, aquellas magnitudes que, fáciles de medir y fáciles de interpretar, nos indican si progresamos en la línea deseada. Conviene destacar esta idea. Es tentador empezar a definir variables sobre el comportamiento ambiental de los procesos que configuran el funcionamiento de nuestra sociedad. Seguro que muchas variables nos aportan una visión enriquecedora del sistema que analizamos. No obstante, debemos aprender a situar cada información en su lugar. En la toma de decisiones no podemos digerir demasiados datos, necesitamos los relevantes y los necesitamos enfocados de manera que muestren la tendencia evolutiva de un determinado fenómeno. Si no es así, toda la ingente cantidad de información que nos inunda no servirá para cambiar las cosas que debemos cambiar.*

*Con esta perspectiva, hace un tiempo que el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya empezó a trabajar en la definición de unos indicadores de sostenibilidad local que respondan a la filosofía comentada. Esto ha implicado un esfuerzo inicial de visualización del modelo de ciudad sostenible en sus aspectos esenciales, la identificación de los principales flujos que se dan en ella y la selección de aquellos que son más significativos con las variables que los miden. No es un trabajo acabado, pero está lo suficientemente elaborado para que haya sido la base de discusión del seminario de ecoeficiencia urbana que han organizado la Agencia Europea del Medio Ambiente, la Fundación Fòrum Ambiental y el mismo Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya. Los resultados del seminario son esta publicación. Su salida a la luz debe servir para que el texto de base y las aportaciones complementarias puedan llegar a un público más amplio que el asistente. Es conveniente que lleguen, porque éste no puede ser un debate exclusivamente académico. Conviene que lo conozcan y intervengan todos aquellos que tendrán que utilizar los indicadores si quieren hacer su trabajo correctamente.*

*Deseo pues, que los lectores de este libro encuentren en él una fuente de ideas fecunda y útil para su trabajo. Igualmente, confío en que la Fundación Fòrum Ambiental impulse nuevas iniciativas como la que ahora os presentamos.*

**Felip Puig i Godés**

Conseller de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya



Generalitat de Catalunya  
Departament de Medi Ambient

*El conseguir un desarrollo más sostenible, manteniendo las aspiraciones a una mejor calidad de vida también para las generaciones venideras, viviendo cada vez más de los intereses y no del consumo del capital natural, es ahora un objetivo irrenunciable de la Unión Europea como establecido en el Tratado de Amsterdam.*

*El reciente Consejo Europeo (diciembre 99) de Helsinki ha confirmado la responsabilidad de las distintas formaciones del Consejo, tanto en políticas sectoriales (energía, agricultura, transporte,...) como en políticas horizontales (mercado interior, desarrollo, ...) de establecer estrategias para responder en la práctica a dicho objetivo incluyendo la aplicación de indicadores para poder rendir cuentas en términos operativos del avance o retroceso al respecto; de hecho el primer mecanismo de control, el del transporte, ya está en marcha y la Agencia acaba de publicar los primeros resultados, que muestran claramente que no nos movemos en la dirección correcta (ver la página web de la Agencia -www.eea.eu.int-).*

*Esta evolución del marco político y, esperamos, económico hacia sistemas de evaluación del progreso, y por ende de reorientación y transformación de políticas, mercados ..., para responder a este paradigma esperanzador y de futuro que es el desarrollo sostenible, es particularmente relevante para los dos colectivos o agentes socioeconómicos que son finalmente los "hacedores": los que acaban gestionando o ejecutando cualquier política o programa -las empresas- y los colectivos locales, ciudades y municipios-. De aquí la importancia de las jornadas que se desarrollaron en Barcelona en marzo de 1999 sobre indicadores urbanos y cuyos resultados se resumen en este documento.*

*Si conseguimos establecer un modelo de referencia (o paquete de indicadores) para el desarrollo urbano, que pueda servir a los gestores para seleccionar alternativas, optimizar y gestionar programas y proyectos, identificar mejoras prácticas y experiencias con éxito en otros municipios, y además servir a los ciudadanos para participar en el desarrollo, ejecución y control de las políticas correspondientes, habremos dado un paso práctico gigantesco en el progreso hacia un desarrollo más sostenible.*

*Y ello sin olvidar que este proceso de "marcaje" o de etiquetado de las ciudades en función de su situación o progreso en materia de calidad ambiental, o calidad de vida en general, más allá de los puros términos económicos, contribuye a crear alicientes y referencias para los gestores políticos y agentes socioeconómicos y una competencia saludable que puede al mismo tiempo llevar no sólo a compartir problemas sino también soluciones o programas que funcionan, lo que ahora se define en inglés como "comperation" (from competition and cooperation).*

*Sería saludable, por ejemplo, ver a Madrid y Barcelona (y sus Alcaldes) "comperando" también en estos términos de calidad ambiental y desarrollo sostenible, como lo hicieron anecdóticamente en el 98 cuando en el "día sin coches" Barcelona superó ampliamente a Madrid, aunque los dos tuvieron resultados más bien pobres.*

*Y para la Agencia Europea de Medio Ambiente, que debe desarrollar información que pueda usarse directamente para mejorar los procesos de toma de decisiones y de información y participación pública, es importante conseguir que las ciudades se doten de estos instrumentos de gestión. Sin ellos la Agencia estará condenada a sólo seguir informando de la falta de progreso, lo que no nos lleva muy lejos.*

*Mi agradecimiento personal a los organizadores de estas Jornadas y en particular a la Fundación Fòrum Ambiental. No es fácil abrir camino en estas áreas. El próximo paso es ciertamente consolidar un paquete único de indicadores a escala comunitaria. En este sentido la Agencia y la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea han preparado una propuesta que presentaron en la pasada Conferencia de Hannover 2000 y todos esperamos un respaldo político al respecto durante la Presidencia portuguesa. Luego será necesario aplicarlo a unas ciudades piloto (Barcelona, Copenhague, Lisboa y otras ciudades ya se han ofrecido) para finalmente promocionar un club y plataforma de ciudades que informen y comuniquen continuamente sus progresos hacia un desarrollo urbano más sostenible. El presente documento debe ser una referencia para dicho proceso.*

**Domingo Jiménez Beltrán**

Director de la Agencia Europea de Medio Ambiente (Copenhague)



Agencia Europea de Medio Ambiente



*Desde su creación, la Fundación Fòrum Ambiental se ha propuesto, como principal objetivo, crear una plataforma de diálogo entre las Administraciones Públicas, las Empresas y la Sociedad, para poder construir y aplicar, conjuntamente, un modelo de desarrollo más sostenible que el actual.*

*Con la celebración del taller sobre indicadores de huella y calidad ambiental urbana, la Fundación Fòrum Ambiental cumple con dos de sus misiones principales: dinamizar la relación entre las empresas y la sociedad en materia ambiental y promover el desarrollo de acciones empresariales que mejoren la sostenibilidad urbana y la calidad de vida.*

*El presente documento de síntesis, junto con el CD-ROM editado que contiene la grabación de todas las ponencias, pretende ampliar el alcance del contenido y las conclusiones del taller. Aquí se recogen multitud de aportaciones para aumentar la sostenibilidad del modelo de ciudad del cual disponemos actualmente, y que por ahora es uno de los más ecoeficientes: la ciudad mediterránea, multifuncional y razonablemente compacta. EL reto de aprovechar todas estas aportaciones queda en manos de las administraciones, las empresas y los ciudadanos.*

*Por nuestra parte, desde la Fundación seguiremos trabajando para impulsar estos valores, promoviendo el foro de debate abierto y permanente que nos permita ir construyendo, entre todos, el futuro que deseamos. El análisis riguroso, la investigación básica y aplicada, la difusión y divulgación de las ideas y los conceptos son algunas de las líneas de trabajo que se impulsan, pero por encima de todas está la voluntad de convertirse en un foro de diálogo donde toda la sociedad pueda expresarse y sentirse representada.*

**Joan Ras i Sirera**

Presidente de la Fundació Fòrum Ambiental

fundació (fòrum ambiental ●●



## 1. MODELOS E INDICADORES URBANOS

El propósito de este documento es promover la discusión sobre tres aspectos que hoy son motivo de reflexión para muchos equipos de trabajo en toda Europa. El primero aborda la metodología de aproximación al problema, comparando el modelo analítico: presión, estado, respuesta, con el modelo analítico-teórico: sistema-entorno. El segundo presenta, bajo el prisma teórico del modelo sistema-entorno, un conjunto de modelos e indicadores básicos de la ciudad y su metabolismo (el resto de indicadores de seguimiento de cada modelo pueden encontrarse en un documento de análisis ampliado). Por último, se presentan algunos indicadores de apropiación humana de los recursos naturales, a escala global, que ilustran la limitación, para nuestros intereses, de los recursos básicos en el Planeta y de la capacidad de los sumideros de la Tierra.

## 2. INTRODUCCIÓN A LA UNIDAD SISTEMA-ENTORNO

### 2.1. Descriptores, indicadores e índices urbanos

#### 2.1.1. Descriptores urbanos

Los descriptores urbanos son parámetros o variables que reflejan cuantitativamente una determinada realidad urbana sea física, económica o social. Sus valores permiten “describir” la realidad en estudio, pudiéndolo hacer bajo ciertos criterios intencionales, por ejemplo: representación gráfica de las aceras de más de 2 metros de ancho. Estos parámetros son muy adecuados para establecer estándares urbanos que permitan luego dibujar el perfil de calidad urbana de una determinada ciudad. Descriptores de habitabilidad y calidad de vida pueden establecerse en el sentido antes señalado.

#### 2.1.2. Indicadores e índices urbanos

En la literatura actual se pueden encontrar diversos esfuerzos de definición de indicador urbano. Partiendo de ellos se puede concluir que: Un indicador urbano es una variable o estimación urbana que provee una información agregada, sintética, respecto a un fenómeno más allá de su capacidad de representación propia. Es decir, se le dota exógenamente de un significado añadido.

Un indicador urbano es pues una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones.

Ya la definición de indicador urbano explicita el carácter social del mismo y del sistema estadístico que implica. Esto tiene traducciones prácticas muy significativas, que van desde la definición de los objetivos de un sistema de indicadores hasta los procedimientos de construcción de este aparato estadístico y que hacen de los indicadores urbanos, entre ellos los ambientales, un genuino producto estadístico social.

Algunos sistemas de indicadores no se satisfacen con seleccionar una o más variables descriptivas de un fenómeno ambiental de interés social como mecanismo de síntesis de la información necesaria para tomar decisiones, sino que fusionan la información contenida en varias de ellas en una sola expresión numérica. La magnitud resultante de tal fusión se denomina índice, y es una magnitud adimensional pues resulta de la adición ponderada, según el procedimiento que se elija, de diversas unidades de medida.

Un índice urbano posee las mismas características que el indicador pero su carácter social es aún más acentuado, dada la aleatoriedad que rodea todo proceso de ponderación. El beneficio obtenido se traduce en una mayor síntesis de la información relevante y una mayor eficacia como input en la toma de decisiones.

El sistema de indicadores urbanos es un conjunto ordenado de variables sintéticas cuyo objetivo es proveer de una visión totalizadora respecto a los intereses predominantes relativos a la realidad urbana de que se trate.

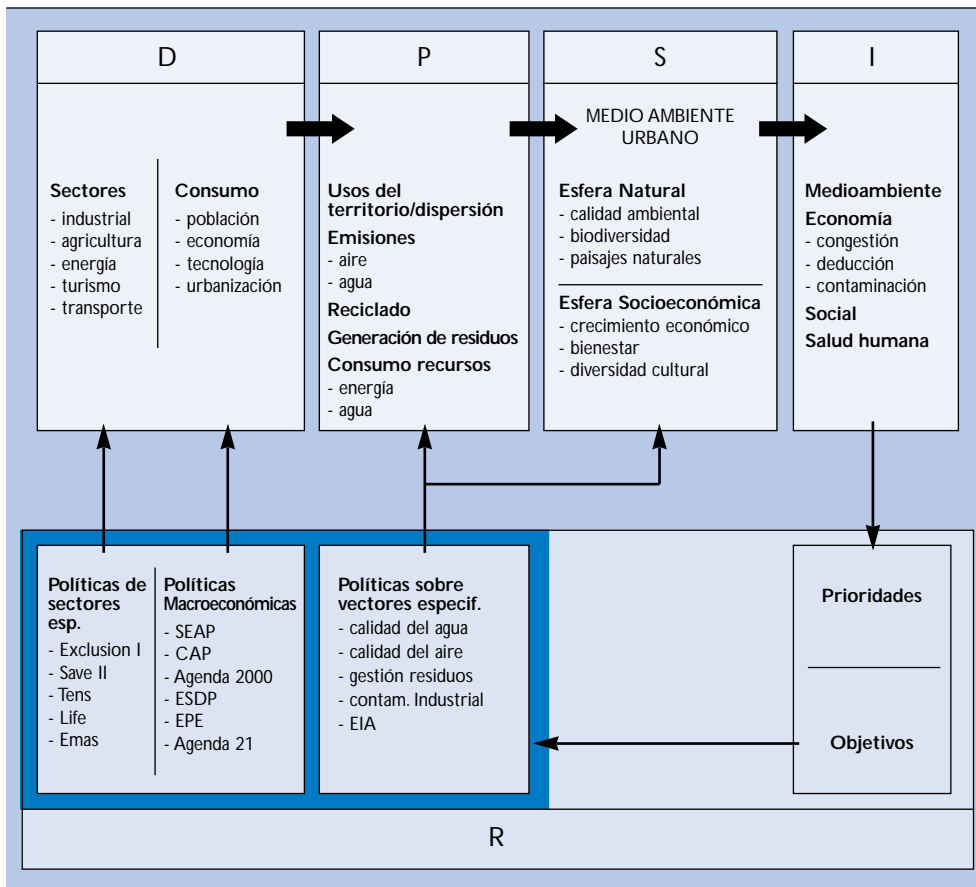
Son aspectos relevantes en la materialización de este sistema el establecimiento de unos criterios de selección de indicadores y de un procedimiento de elaboración del mismo caracterizado por una interacción estrecha entre el mundo científico, el institucional y los diversos grupos sociales e individuos interesados, cuyo resultado final debe ser la validación socio-política del sistema, pilar sobre el que se sustenta su credibilidad.

**2.1.3. La inclusión de los indicadores en estructuras analíticas comunes: el modelo presión-estado-respuesta (P-E-R)**

La presentación de un número determinado de indicadores, por áreas o temas ambientales o urbanos, requiere que éstos se encuentren organizados en un marco lógico que ayude a su inteligibilidad y facilite la comunicación. Esta estructura analítica potencia la función de los indicadores como medio de información, antes que sus propiedades intrínsecas.

Hoy, el marco de análisis dominante es el denominado de Presión-Estado-Respuesta, desarrollado por primera vez por Frien y Rapport (1979). Este marco, introducido con fuerza en el conjunto de países de la OCDE al haber constituido el modelo de desarrollo de indicadores ambientales de ese organismo internacional, se basa en el concepto de causalidad “las actividades humanas ejercen presiones sobre el medio y cambian su calidad y la cantidad de los recursos naturales. La sociedad responde a esos cambios a través de políticas ambientales, sectoriales y económicas. Esto último crea un bucle hacia las actividades humanas de presión. En términos generales, estos pasos forman parte de un ciclo de política ambiental que incluye la percepción del problema, la formulación de políticas, y el seguimiento y evaluación de las mismas” (OCDE, 1994).

**Cuadro 1:** La DPSIR de la Agencia Europea de Medio Ambiente para impactos urbanos, muestra las interconexiones entre sectores económicos (D), la presión (P), el estado (S), los impactos (I), y las respuestas (R). Es el modelo de la OCDE ampliado.



Fuente: European Environment Agency

El sistema considera entonces la necesidad de desarrollar tres tipos de indicadores para abordar cada uno de los temas o áreas políticas o socialmente relevantes:

- a) De presión, incluye presiones directas e indirectas. Directas son, por ejemplo, las de los incendios. Indirectas serían, por ejemplo, las presiones sobre la biodiversidad derivadas de la construcción de carreteras.
- b) De estado del medio ambiente, descriptivos de la calidad del medio, incorporando la calidad de los recursos naturales (flora, fauna, suelo, aire y agua) y la calidad de estos recursos asociada a procesos de explotación socioeconómicos;
- c) De respuesta, indicadores de los esfuerzos en términos de políticas ambientales y de recursos naturales.

La utilidad de este modelo es que se adapta a los pasos de un modelo decisorio cualquiera y que, por otra parte, es común a la forma de pensar de quienes deciden y de la comunidad científica. La simplicidad del mismo sugiere relaciones lineales entre las partes, oscureciendo relaciones más complejas dentro de los ecosistemas y relaciones también complejas entre éstas y otros sistemas, como el social o el económico.

La demanda de información clara, simple y agregada para la descripción de un problema sobre el que decidir, se enfrenta en este modelo con la ausencia de un marco teórico apropiado, lo que dificulta el discernimiento entre diversas informaciones sin jerarquía teórica alguna. Frente a tal carencia, se opta en muchas ocasiones por integrar un alto número de variables en el sistema, por temor a dejar variables significativas fuera, retornando al punto de partida a saber, una cantidad ingente de datos que no transmiten la información necesaria para tomar decisiones.

#### 2.1.4. La inclusión de los indicadores urbanos en modelos teóricos integradores: el modelo sistema-entorno

Todos los sistemas individuales y ecosistemas en la naturaleza tienen tendencia a aumentar su complejidad en el tiempo. En efecto la evolución de las especies y la sucesión en los ecosistemas nos muestran un camino de organizaciones sucesivas cuya tendencia es el aumento de la complejidad. Una tendencia que consigue, en el siguiente paso, controlar mejor las variables del entorno y asegurar mejor el futuro.

El "control" de las variables del entorno supone la capacidad de anticipación que tiene el sistema para acomodarse a los mensajes en forma de flujos materiales, energéticos y de información que le manda su entorno (el entorno es también un sistema).

El entorno a su vez, recibe mensajes en forma de flujos provenientes del sistema y su estructura y organización se mantiene entre determinados límites en función de los reguladores que este tenga. La sensibilidad del sistema depende de las características de dichos reguladores. Si son débiles, el entorno modificará su organización fácilmente y con ella los mensajes en forma de flujos, pudiendo con ello, romper el equilibrio, o si se quiere superando la capacidad de anticipación del sistema, impactando sobre este. El resultado del impacto puede conducir a la desaparición del sistema o bien a su reorganización.

Esta relación entre el sistema y su entorno la estableció de manera precisa M. Conrad (1983) en su libro *Adaptability* y J. Wagensberg, la amplió universalmente. Según los autores citados los ecosistemas de la Tierra, entre ellos los sistemas urbanos, siguen la siguiente igualdad:

$$\text{complejidad del sistema} - \text{capacidad de anticipación del sistema} = \text{complejidad del entorno} - \text{sensibilidad del entorno}$$

Que expresado en términos de la teoría de la información:

$$H(S) - H(S/E) = H(E) - H(E/S)$$

De acuerdo con J. Wagensberg (1994), si consideramos el sistema como fuente donde se origina un mensaje destinado al entorno, la cantidad de información original contenida en el sistema depende de su diversidad potencial de comportamientos. Es lo que se denomina complejidad del sistema  $H(S)$ .

Si ahora consideramos al entorno como una fuente del mensaje destinado al sistema, la información original depende, también aquí, de la riqueza de posibles comportamientos de la fuente, en este caso, el entorno. Es la complejidad del entorno  $H(E)$ .

Pero no toda la información que sale del sistema llega al entorno. La primera equivocidad corresponde a la diversidad de comportamientos que disfruta un sistema, una vez se ha fijado cierto comportamiento del entorno. Cuanto menor sea la equivocidad, menores son las dudas del sistema respecto a su entorno y más limita el entorno las posibilidades del sistema. Es la capacidad de anticipación del sistema  $H(S/E)$ .

La información del entorno que no llega al sistema, depende análogamente, de la variedad de estados del entorno compatible con un comportamiento dado del sistema, cuanto menor sea el valor, más afectado se encuentra el entorno por el comportamiento del sistema. Es la sensibilidad del entorno  $H(E/S)$ .

#### **Ejemplo:**

*Las ciudades (S) han evitado construir sobre el cauce de los ríos (E), anticipándose a las consecuencias que ello representaría. Cuando lo han hecho sobre el cauce extraordinario, han tenido que acabar encauzándolo para evitar las catástrofes que de modo recurrente se venían sucediendo. Con la canalización se han superado, en parte, los daños potenciales sobre la ciudad causado por los factores meteorológicos.*

*La anticipación conseguida con la canalización ( $H(S/E)$ ) se puede ver comprometida si el régimen de precipitaciones ( $H(E)$ ) se modificara a una de las hipótesis del probable cambio climático es que la torrencialidad de las lluvias puede acrecentarse- y en el caso que la ciudad fuera llana y se asentara en el litoral, podría suponer para ésta un problema añadido el crecimiento del nivel del mar. El entorno analizado anteriormente donde, a efectos prácticos, el clima era independiente del funcionamiento de la ciudad, se convierte ahora en un componente enteramente dependiente de la organización y el funcionamiento de los sistemas urbanos ( $H(E/S)$ ). En efecto, mientras las emisiones con efecto invernadero (mensaje) no han saturado los mecanismos que permitían regular las concentraciones de  $CO_2$  en la atmósfera dentro de determinados márgenes, el clima podía parecer que era independiente de los sistemas emisores de gases (los sistemas urbanos como emisores principales); de algún modo podríamos decir que el entorno era insensible al comportamiento de los sistemas urbanos o, también, que las emisiones generadas no eran suficientes para modificar el comportamiento del entorno. Ahora que las concentraciones de  $CO_2$  en la atmósfera son las más elevadas de los 160.000 años se hace patente el papel que juegan las ciudades en el probable cambio climático. La anticipación a los desastres potenciales no se ciñe ahora únicamente a la canalización del cauce sino al funcionamiento entero de la ciudad -restringiéndose, en consecuencia, parte de los comportamientos potenciales de ésta- y debido a la escala global del sistema atmosférico, también compromete al conjunto de agentes emisores de gases con efecto invernadero.*

Así pues, la igualdad expresa la interdependencia íntima entre el entorno y el sistema, a la vez que indica que el traspaso de información entre el sistema y el entorno es igual. Para una profundización teórica del modelo y su ampliación ver (Rueda, S 1995).

La permanencia en el mundo de cada sistema depende del mantenimiento de la igualdad y depende, en consecuencia, del equilibrio entre los cuatro sumandos de la ecuación. La rotura de la igualdad significa la desaparición del sistema o su transformación en otro sistema diferenciado que proporciona una nueva igualdad (esto es lo que sucede, por ejemplo, cuando un organismo muta en el proceso evolutivo).

Hay cuatro términos para jugar y una ley que respetar. Cuando en la dialéctica sistema-entorno se esquivan todas las dificultades y no se viola la ley fundamental, entonces decimos que hay adaptación. El sistema se adapta. Pero adaptarse sólo es posible dentro de ciertos límites, es decir, por debajo de una variación máxima de las condiciones ambientales. Cuando esto no

es posible, cuando una perturbación no puede ser absorbida por una respuesta de los otros tres, la adaptación se rompe y el sistema entra en crisis. El sistema entonces, o bien se extingue, o bien cambia a otra estructura, sé autoorganiza (Wagensberg, J 1994).

La magnitud de las incertidumbres que hoy proyectan los ecosistemas de la Tierra (probable cambio climático, agotamiento y apropiación excesiva de recursos, etc.), fruto de la presión que ejercen, sobretudo, los sistemas urbanos (son los sistemas humanos que mayor impacto provocan sobre el conjunto de sistemas de la Tierra), nos obligan a repensar los modelos de gestión que gobiernan nuestras ciudades, con el fin de mantener los equilibrios con el entorno que nos aseguren el futuro.

El análisis de cada uno de los componentes significativos de la unidad permite describir los modelos actuales de gestión con que los sistemas urbanos actúan y el grado de explotación e impacto al que someten al entorno. Un análisis más profundo nos permite identificar las variables con una menor flexibilidad y por tanto los indicadores que podrían establecerse para hacer un seguimiento de tendencias de la unidad SISTEMA-ENTORNO en su proyección de futuro.

Este es un marco teórico que incluye y trasciende al modelo analítico: presión-estado-respuesta, ya que la “presión” se refleja en la sensibilidad del entorno, el “estado” se corresponde con la complejidad y su variación en los sistemas de soporte y la del propio sistema urbano y la “respuesta” coincide con la capacidad de anticipación del sistema. Es un marco teórico que trasciende el modelo P-E-R ya que, como veremos, los modelos de gestión que dan sentido al aumento de la capacidad de anticipación, tienden a preservar la igualdad expuesta y sus equilibrios, informándonos de la direccionalidad que deben tomar las decisiones. El modelo sistema-entorno nos proporciona el marco teórico que no incorpora el modelo P-E-R.

### 2.1.5. Los modelos de gestión en la unidad sistema-entorno

Los modelos que a continuación se analizan de modo sintético tienen que ver con el metabolismo urbano, con la ordenación del territorio y también con el funcionamiento del sistema.

En cada uno de los esquemas que se exponen, se dibuja en la parte superior el SISTEMA, en este caso la ciudad y, en la parte inferior, su ENTORNO. Los flujos de la parte derecha del esquema expresan el grado de explotación (el grosor de las flechas es proporcional a los flujos que se quiere representar) a que sometemos a los ecosistemas de soporte (entorno) y los de la izquierda el nivel de impacto. Los esquemas recogen el contenido de los sumandos que constituyen la unidad (igualdad) sistema-entorno.

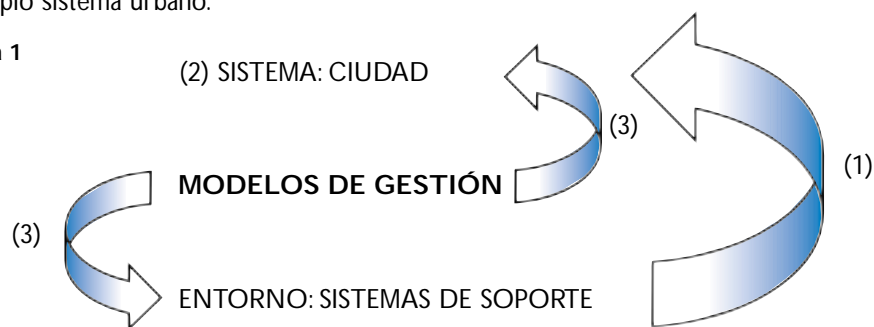
### 2.1.6. Esquema gráfico de la unidad sistema-entorno

(1) Los sistemas urbanos explotan a los sistemas de soporte extrayendo materias primas y ejerciendo una primera presión sobre ellos. Como es obvio, la explotación ejercerá un mayor o menor impacto en la organización de los sistemas de soporte (complejidad del entorno) en función de su intensidad y de la fragilidad del propio entorno (sensibilidad).

(2) Los materiales y la energía extraídas del entorno llegarán a la ciudad más o menos transformados y elaborados (materias primas y bienes de consumo) de modo que le permita a esta mantener y aumentar, si cabe, su organización (complejidad del sistema).

(3) Los modelos de gestión (son los que pueden aumentar o disminuir nuestra capacidad de anticipación), organizan los flujos y el consumo de recursos. Los modelos determinan el grado de explotación del entorno y el impacto entrópico que proyectan sobre este y sobre el propio sistema urbano.

Figura 1

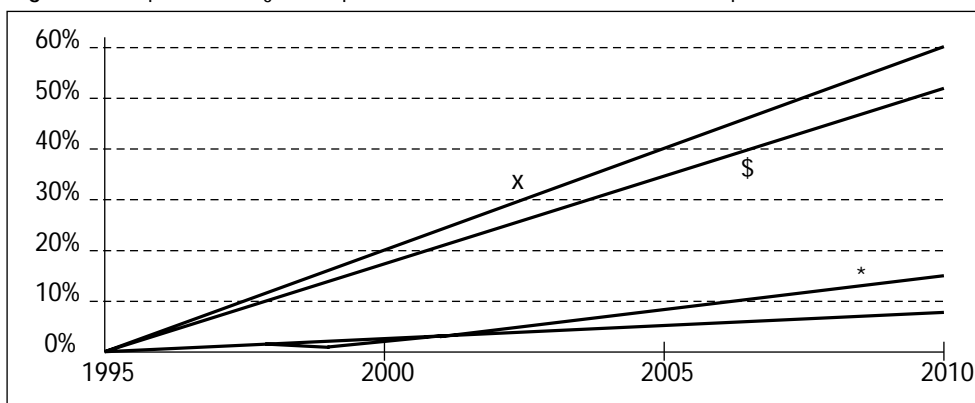


### 3. MODELOS E INDICADORES URBANOS DE OCUPACIÓN DEL TERRITORIO: LA CIUDAD COMPACTA Y LA CIUDAD DIFUSA

A continuación se resumen los aspectos básicos de dos modelos antagónicos representados por la ciudad compacta y compleja, y por la ciudad difusa, dispersa en el territorio. Sabemos que estos modelos no se encuentran en la realidad en estado puro y, por lo tanto, lo que se expone más adelante no deja de ser una simplificación que tiene su justificación en facilitar el hilo de la exposición y sobre todo en marcar dos polos extremos que nos ayuden a situar, luego, los modelos de cada ciudad con relación a éstos; saber si nos acercamos más o menos al modelo de ciudad compacta o al modelo de ciudad difusa. El panel de indicadores que se proponen pretende hacer un diagnóstico aproximado de la situación de la ciudad en estudio, con relación a los modelos teóricos que aquí se dibujan.

Los dos modelos se representan en sendos esquemas, donde se puede comprobar que en el modelo de ciudad difusa el consumo de suelo y el deterioro que causa en los sistemas de soporte, así como el consumo de energía y materiales extraídos de dichos sistemas para mantener la organización urbana, es mayor que el correspondiente al modelo de ciudad compacta. Lo mismo sucede con relación a los flujos contaminantes proyectados sobre los sistemas de soporte de ambos tipos de ciudad, debido a los modelos de movilidad, edificación y servicios asociados de cada modelo urbano. Se incluye también una primera representación de la complejidad en forma de mensaje con iconos (recuadros con figuras en los esquemas), en el caso de la ciudad difusa el mensaje es repetitivo y simple, y es diverso y complejo en la ciudad compacta.

Figura 2: Prospectiva de algunos aspectos clave en los sistemas urbanos europeos.



x consumo; \$ GDP; \* posesión de vehículos; — urbanización

Cuadro 3

*El rápido aumento del transporte privado y el consumo intensivo de recursos son las principales amenazas para el medio ambiente urbano y, en consecuencia, para el bienestar humano. En muchas ciudades, constituyen hoy el 80% del transporte mecanizado. Las previsiones relativas al crecimiento del transporte en Europa occidental indican que, en un escenario de "situación sin cambios", la demanda del transporte de pasajeros y mercancías por carretera podría llegar a duplicarse entre 1990 y 2010, con un aumento de la cantidad de automóviles de entre el 25 y el 30%, y un incremento del 25% en el número de kilómetros por vehículo. Se espera que, durante la próxima década, se acelere el crecimiento actual de la movilidad urbana y de la propiedad de automóviles en las ciudades de Europa central y oriental, con los correspondientes aumentos del consumo de energía y de las emisiones relacionadas con el transporte. EEA.*

La urbanización se expresa como la fracción de individuos residentes en áreas urbanas (74,5 % en 1995); el consumo (en b ECU) ascendió a 3,3 en 1995; la posesión de vehículos se calculó como el número de vehículos/1000 habitantes (395 en 1995).

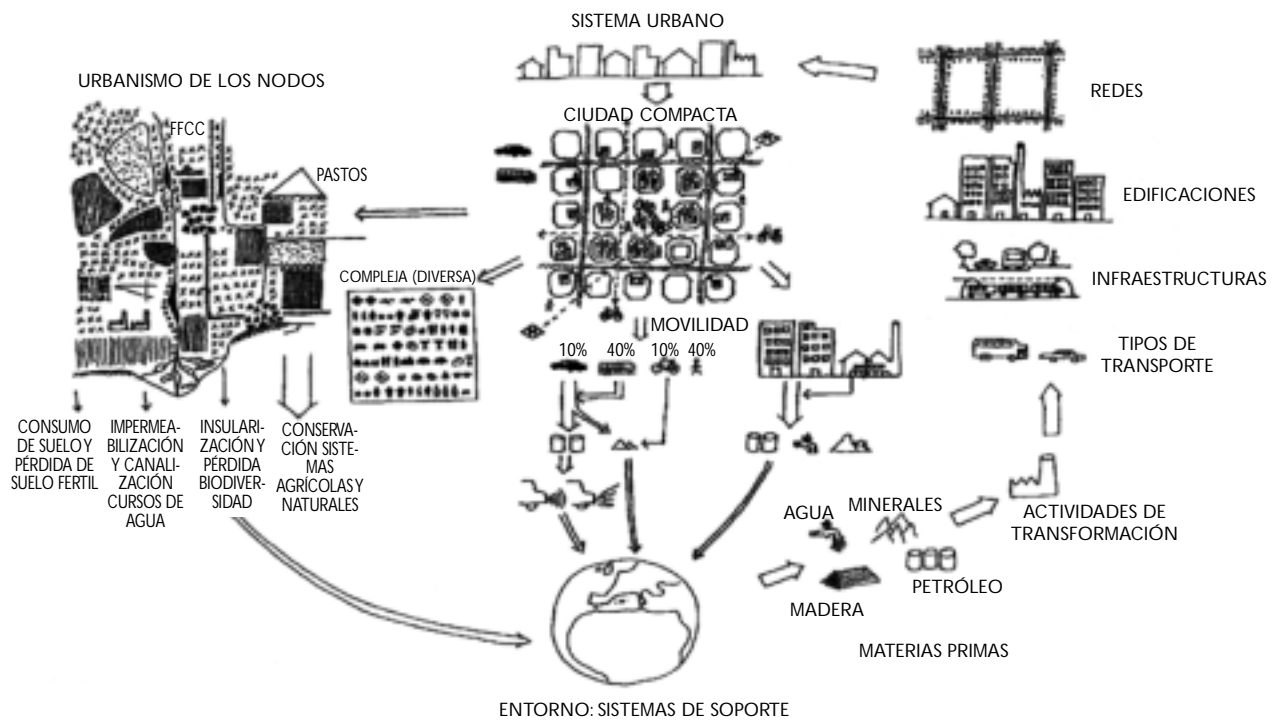
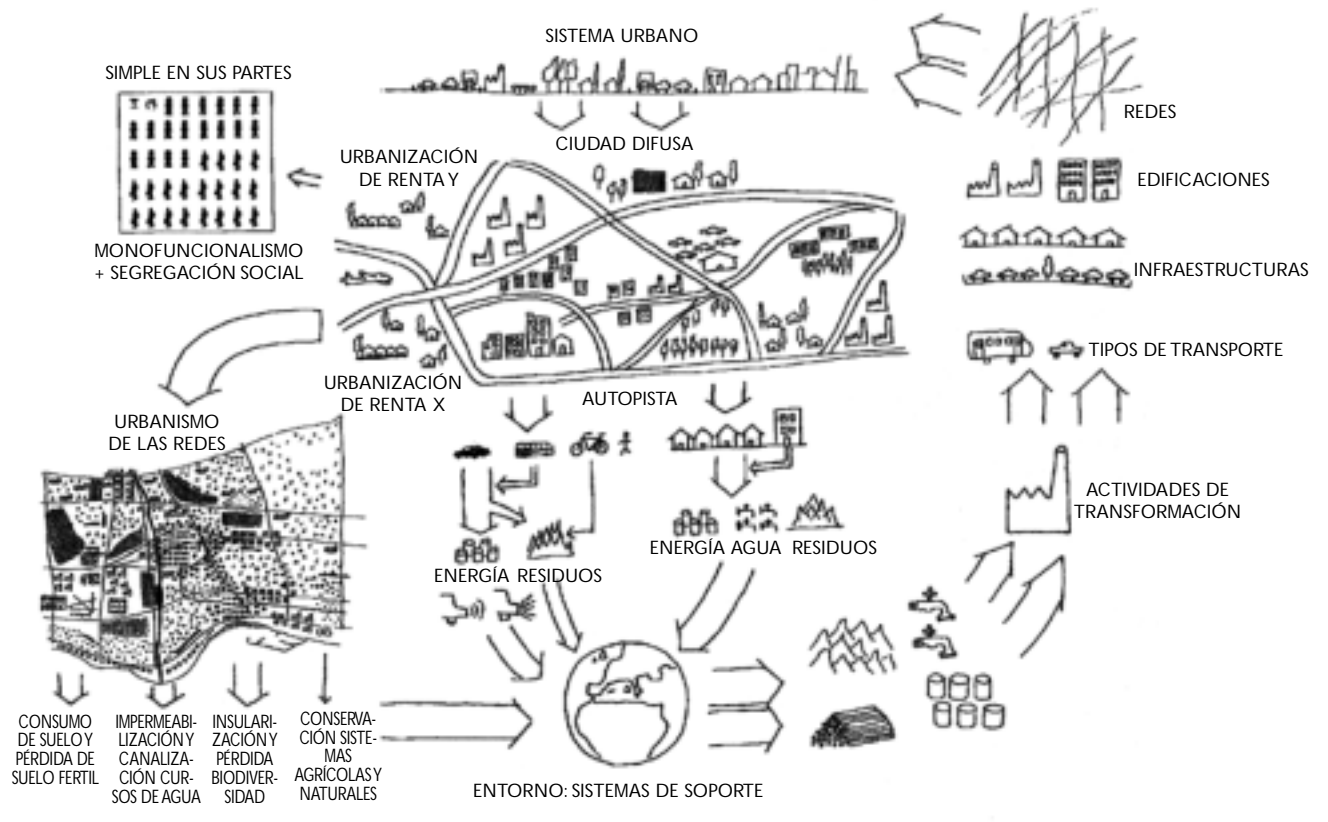
Fuente: EEA Fact Sheets on Societal Trends.



**Cuadro 2:** Comparación entre los modelos de ciudad compacta y ciudad difusa desde el marco de la unidad sistema-entorno

		MODELO DE CIUDAD DIFUSA		MODELO DE CIUDAD COMPACTA	
presión sobre los sistemas de soporte por explotación		nivel	causa	nivel	causa
consumo de materiales	para la producción y el mantenimiento del modelo urbano	>	la dispersión de la edificación y las infraestructuras. La superficie edificada por habitante es mayor. Tipología edificatoria con mayor mantenimiento	<	la proximidad entre usos y funciones supone un menor consumo de materiales. La superficie edificada / habitante es menor. Tipología edificatoria con menor mantenimiento
consumo de energía	en relación al modelo de movilidad	>	el modelo de movilidad descansa en el vehículo privado	<	la mayoría de viajes se pueden realizar a pie, bicicleta o en transporte público
consumo de energía	en relación a las tipologías edificatorias	>	se consume más energía en las tipologías edificatorias unifamiliares	<	las demandas energéticas en bloques de apartamentos es menor
consumo de energía	en relación a los servicios	>	dispersión de las redes	<	por proximidad de las redes
consumo de agua	en relación a las tipologías edificatorias	>	consumo en jardín, piscina, etc.	<	en edificación plurifamiliar es menor
presión sobre los sistemas de soporte por impacto		nivel	causa	nivel	causa
	consumo de suelo y pérdida de suelo llano y fértil	>	explosión urbana del modelo sin crecimiento demográfico	<	consumo restringido, supeditado al crecimiento de la población
	pérdida de biodiversidad	>	insularización de los sistemas agrícolas y naturales por la expansión de las redes de movilidad	<	conservación de los sistemas agrícolas y naturales. Conservación del mosaico agrícola, forestal, pastos y setos, típico de la Europa templada
	perdida de la capacidad de infiltración del agua. Aumento de la velocidad del agua de lluvia caída hasta llegar al mar	>	impermeabilización de las áreas de infiltración y otras y canalización de cauces	<	conservación de las áreas de infiltración y los márgenes del cauce.
	emisión de gases de efecto invernadero	>	por un mayor consumo energético	<	el consumo energético es menor
	emisión de contaminación atmosférica	>	por el modelo de movilidad y el modelo energético	<	es menor por un menor consumo de energía y una mayor accesibilidad
mantenimiento y aumento de la organización del sistema urbano		nivel	causa	nivel	causa
	complejidad	<	las partes del sistema urbano se simplifican. Se separan los usos y las funciones en el espacio. En cada espacio solo contactan los portadores de información de características similares: los obreros con los obreros, en los polígonos industriales, los estudiantes con los estudiantes en el campus universitario...	>	se consigue mayor diversidad de portadores de información en todas las partes del sistema urbano
	compacidad y proximidad entre los portadores de información	<	la dispersión de usos y funciones en el territorio proporcionan tejidos urbanos laxos.	>	la concentración edificatoria da lugar a tejidos densos y de usos y funciones próximos entre sí
	cohesión social	<	segrega a la población en el espacio según etnia, religión...	>	la mezcla de personas y familias con características económicas, etnias... supone una mayor estabilidad social porque aumenta el número de los circuitos reguladores recurrentes
calidad urbana	contaminación atmosférica	<	la separación de usos permite obtener niveles de inmisión menores.	>	el uso más intenso del tejido urbano proporciona niveles de inmisión mayores.
calidad urbana	ruido	<	es menor en ciertos tejidos urbanos y sensiblemente igual o mayor en otros.	>	la concentración de vehículos provoca un aumento de las emisiones ruidosas. La reducción del nº de vehículos circulando puede suponer una disminución del ruido urbano.
calidad urbana	espacio público	<	se reduce y se sustituye por espacios privados en grandes contenedores urbanos: deportivos, de compra, de transporte, etc.	>	la calle, y la plaza constituyen los espacios de contacto y de convivencia por excelencia, que pueden combinarse con el uso de espacios en grandes contenedores.

Figura 3. Modelos de ocupación del territorio: modelo de ciudad difusa y ciudad compacta y compleja.



**Cuadro 4:** Índices e indicadores básicos para el seguimiento de los modelos de ciudad.

enunciado	formulación	unidad de medida	escala del indicador	incidencia	descripción
La complejidad del sistema urbano (H)	$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$	Bit	Local	En el sistema urbano	H es la diversidad y su unidad es el bit de información. Pi es la probabilidad de ocurrencia. Indica el número de miembros que cumplen una peculiaridad en el conjunto de miembros de la comunidad. La diversidad (H) es una medida indirecta de la organización del sistema urbano calculada a través de la teoría de la información. Se trata de saber el número de portadores de información, con capacidad de contacto, en cantidad y diversidad en un mismo espacio. Los portadores de información del sistema urbano son las personas clasificadas por categorías y las actividades, entidades e instituciones.
Compacidad urbana (C)	Fórmula <sup>1</sup>	Adimensional. Su representación gráfica puede referirse a una área de referencia.	Local	En el sistema urbano	Es una medida de la "eficiencia" edificatoria en relación al consumo del suelo.
Compacidad corregida (Cc)	Fórmula <sup>2</sup>	Adimensional	Local	En el sistema urbano	Se relaciona la densidad edificatoria con la superficie de convivencia de carácter público: espacios verdes, plazas, aceras de ancho mínimo.
Consumo de energía (E)	$\frac{E}{N}$ $\frac{E}{\text{Superficie}}$ $\frac{E}{P_i}$ (3)	Kwh / a Kwh / hab / a Kwh / m <sup>2</sup> / a Kwh / P <sub>i</sub> / a	Global (local)	En el sistema urbano. Sobre los sistemas de soporte	La energía permite el funcionamiento y el mantenimiento de la organización del sistema urbano. Son interesantes las relaciones de energía con población, portadores de información y superficie urbana.
Eficiencia del sistema urbano (E <sub>r</sub> )	$E_r = E / H$	Kwh / bits	Local	En el sistema urbano	Es una medida de la "eficiencia" del sistema urbano. Indica la cantidad de recursos (en este caso la energía) para mantener una información organizada determinada en el sistema urbano.
Influencia potencial del sistema (I <sub>p</sub> )	$I_p = H \cdot E$ $I_{p1} = P_i \cdot E$	bits/Kwh	Local	En el sistema urbano	Indica el poder de explotación de un espacio, entendiendo que este es una función de la información organizada y de su consumo de energía. Entre dos espacios (AyB) que interactúan donde $I_{pA} > I_{pB}$ parece que el flujo neto de materiales y/o energía y/o información iría en la dirección de mantener o aumentar la complejidad de (A) y de simplificar o reducir la complejidad de (B).
Huella ecológica del sistema urbano (EF <sub>p</sub> )	$EF_p = N \cdot (ef)$	ha	Global	En los sistemas de soporte	Indica la superficie de suelo productivo necesario para mantener una población determinada, independientemente de donde sea que se encuentre este suelo.

(1)  $C = (s^2 \text{ techo} / s^2 \text{ suelo por parcela}) / (s^2 \text{ suelo por parcela} / s^2 \text{ urbanizada } (s))$ .

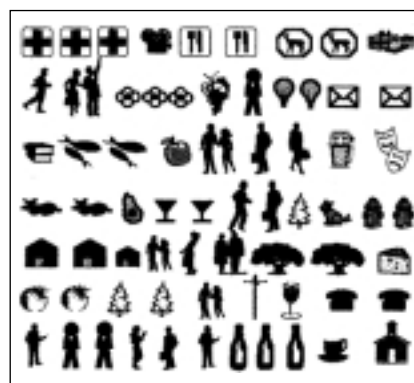
(2)  $Cc = (s^2 \text{ techo} / s^2 \text{ suelo por parcela}) / (s^2 \text{ suelo por parcela} / s^2 \text{ espacios verdes y espacios públicos de convivencia})$ .

(3)  $P_i$  = portadores de información.

La diversidad H la podríamos representar con un conjunto de iconos. Cada símbolo sería un portador de información. El conjunto de iconos da lugar a un mensaje que nos permite calcular su información.



Portadores de información en una urbanización de la ciudad difusa



Portadores de información en un tejido urbano de la ciudad compacta

Figura 4

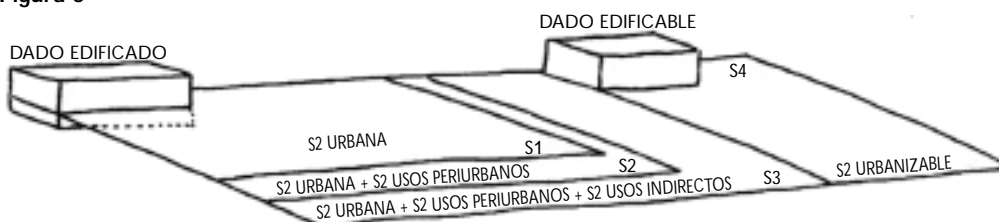
En el caso de la ciudad difusa se intenta revelar la información contenida en una urbanización que tiene un conjunto de portadores de información muy pequeño, por ejemplo una tienda de comestibles, un bar y un conjunto de individuos con características muy similares (en principio no diferenciables). Si a cada símbolo dibujado le asignáramos una letra del abecedario, la lectura del mensaje sonaría algo así: a, b, ccccc, ddddd,.... la información contenida en el mensaje es muy reducida, es muy "simple". No ocurre lo mismo en el mensaje correspondiente a un área similar en la ciudad compacta; su lectura da idea de la complejidad del mismo, que de hecho representa la complejidad que atesora el propio espacio urbano seleccionado. El mensaje precisa los distintos portadores de información y el número de cada uno de ellos.

**Cuadro 5:** Indicadores complementarios para el seguimiento de los modelos de ciudad.

enunciado	formulación	unidad de medida	escala del indicador	incidencia	descripción
Superficie urbana (S <sub>1</sub> )		ha	Local	Sistema urbano	La superficie urbana es aquella que contiene los usos de vivienda, industria, comercio, almacenes, oficinas, parques, equipamientos y los usos compatibles con ellos, los cuales, mediante las relaciones a través de las redes, caracterizan el hecho urbano. Quedan excluidos los usos tradicionales de estos tipos, consolidados y ligados a la explotación de los recursos naturales.
Superficie urbana + superficie periurbana (S <sub>2</sub> )		ha	Regional	Sistema urbano	La superficie de usos periurbanos es aquella que acoge usos del suelo incompatibles por sus efectos o tamaño con los usos definidores del suelo urbano. Incluye: aeropuertos, circuitos de carreras, depuradoras, cárceles, talleres ferroviarios, etc.
Superficie urbana + superficie periurbana + superficie usos indirectos (S <sub>3</sub> )		ha	Regional	Sistema urbano y sistemas de soporte	La superficie de usos indirectos incluye aquel conjunto de áreas territoriales que son explotadas para dar servicio a los sistemas urbanos y que no son agrícolas ni forestales: canteras, embalses, áreas intersticiales en los nudos viarios, suelo yermo o, mejor, abandonado, a la espera de ser urbanizado, etc
Superficie urbanizable (S <sub>4</sub> )		ha	Local	Sistema urbano y sistemas de soporte	La superficie urbanizable es aquella reservada para usos urbanos
Dado edificado D <sub>e</sub> y Dado urbanizado	$D_e = \sum_{i=1}^n S_{ui} + h_i / s_{0i}$	m	Local	Sistema urbano	La representación del dado edificado nos da la altura media, es decir, la relación entre el volumen edificado y el suelo que ocupa. El dado urbanizado se calcula del mismo modo sustituyendo la suma de superficies edificadas por la superficie urbanizada S <sub>1</sub> .
Saturación urbana municipal S <sub>m</sub>	$S_m = \frac{S^2 \text{ urbana} + S^2 \text{ urbanizable}}{S^2 \text{ total}} \cdot 100$	%	Local	Sistema urbano	Muestra la proporción de suelo urbano actual previsto en el planteamiento vigente sobre el total de suelo municipal. Es conveniente aplicar este índice en relación al suelo municipal con pendiente menor al 10% (suelo llano)
Consumo potencial de suelo urbano (S <sub>u</sub> )	$S_u = \frac{S^2 \text{ urbana}}{S^2 \text{ urbana} + S^2 \text{ urbanizable}} \cdot 100$	%	Local	Sistema urbano	Muestra la cantidad de suelo que ha llegado a suelo urbano sobre el total previsto en el planeamiento vigente.

En la figura (5) se representa el significado gráfico de los indicadores arriba propuestos.

**Figura 5**



## 4. EL METABOLISMO URBANO

### 4.1. Energía: modelos e indicadores

#### 4.1.1. Energías renovables: estrategia de la biosfera para su sostenibilidad

Por el hecho de que los organismos en general, y el hombre en particular, necesitan degradar energía y utilizar materiales para mantener la vida y la de los sistemas que los soportan, el único modo de evitar que esto nos conduzca a un deterioro entrópico de la tierra y nos proyecte a equilibrios distintos a los actuales, con la incertidumbre que ello supone de cara al futuro, pasa por ir articulando esta degradación energética y la transformación de los materiales sobre el único flujo energético de energía renovable que se recibe, el procedente del sol y sus derivados, manteniendo un reciclaje completo de los ciclos materiales, tal como se encarga de demostrar continuamente el funcionamiento de la biosfera.

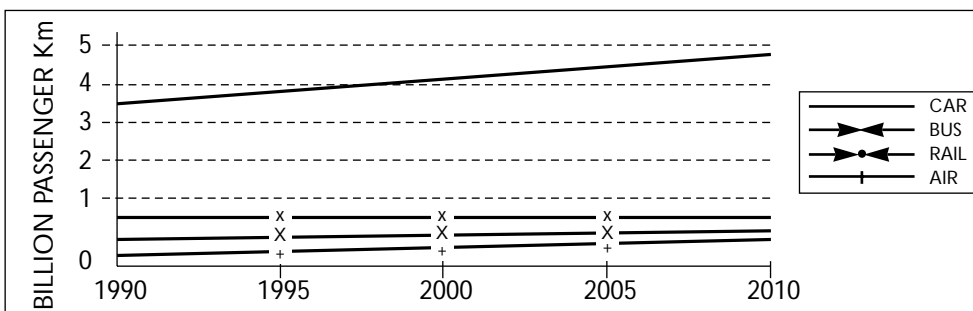
Las exigencias de alta energía concentrada por parte del hombre y sus máquinas contrastan con el amplio y diluido campo de la energía luminosa procedente del Sol. La explosión industrial y demográfica es fruto de la aceleración de la tasa de consumo de combustibles fósiles. Tal como pusieran de manifiesto los estudios de Howard y Elisabeth Odum (1980), las áreas urbanas tienen una gran concentración de energía por unidad de superficie comparativamente a un campo de cultivo o a un ecosistema natural. El problema es que las magnitudes correspondientes de estos nuevos flujos de potencia empiezan a tener suficiente envergadura para alterar los contrapesos y equilibrios del sistema en cualquier lugar donde se encuentren.

#### 4.1.2. El consumo de energía en los sistemas urbanos

La energía es consustancial al funcionamiento de los sistemas. En el caso de los sistemas urbanos el consumo de ésta depende de los modelos de movilidad, de las tipologías edificatorias, de la eficiencia de las tecnologías y del modelo de ciudad del cual dependen, a su vez, y de las modalidades de los servicios urbanos: agua, residuos, redes, etc.

Hoy, en la mayoría de ciudades del mundo occidental, la movilidad es la actividad, del conjunto de actividades de la ciudad, que mayor consumo de energía arroja. Ello es así porque el transporte en la ciudad tiene en el vehículo privado el artefacto que asume, cada día más, un número de viajes mayor. A medida que la urbanización difusa se expande por el territorio, el vehículo privado es el único medio de transporte que puede alimentarla y darle servicio. Son ya muchas las ciudades donde el porcentaje de viajes en vehículo privado llega a cifras cercanas al 80%. El resto de modos de transporte tiene cada vez menos sentido, en la medida que aumenta la separación entre los usos y funciones urbanas.

Figura 6: Modos de transporte y su proyección futura (EU 15 medias).



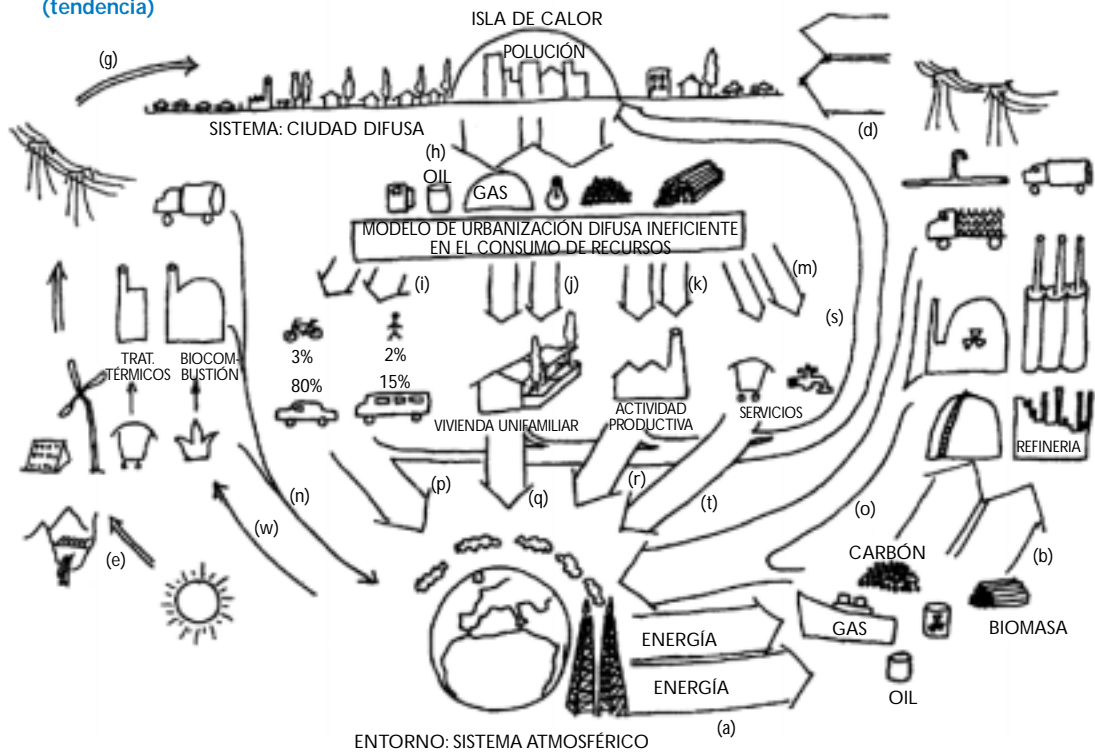
Fuente: EEA Sheets on Societal Trends

#### Cuadro 6

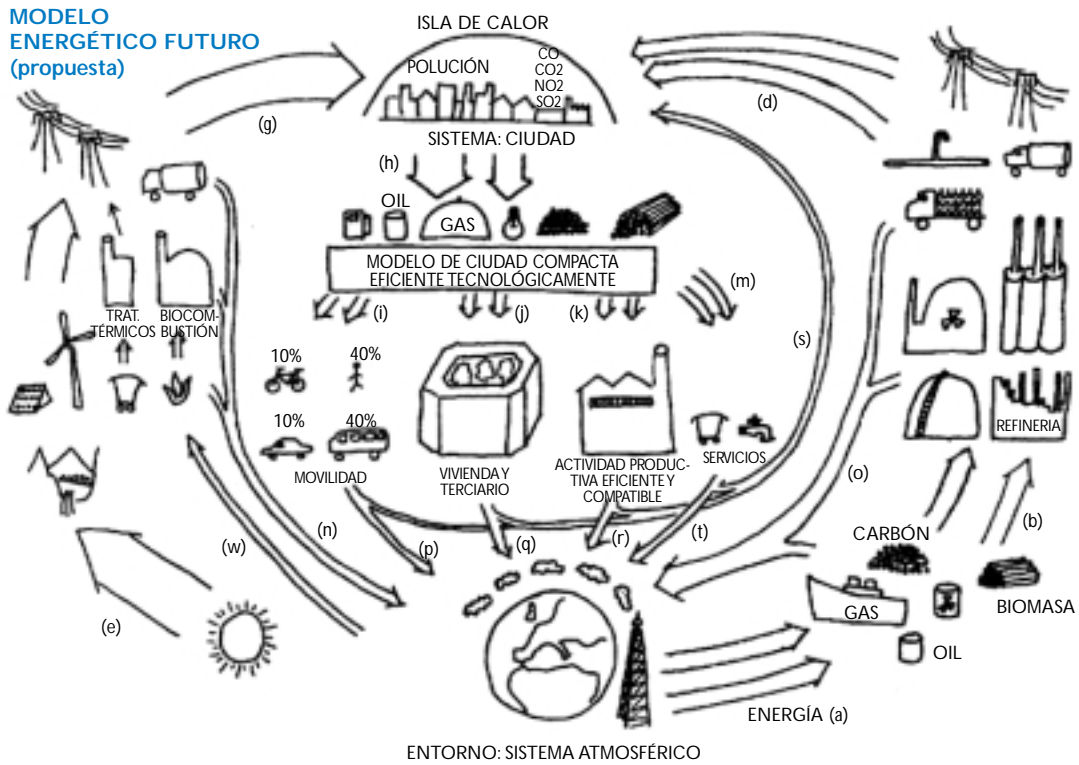
*La potencia energética de un ser humano es cercana a los 150w, y la potencia energética media instalada en un vehículo es de 73kw, es decir, más de 600 veces la potencia energética de una persona. Cuando el funcionamiento de los sistemas urbanos se sustenta en el uso masivo del vehículo privado para realizar las funciones de la vida cotidiana, el consumo de energía se multiplica de manera explosiva, en proporción al número de viajes realizados, la distancia y la velocidad.*

Figura 7. Modelos energéticos: tendencia actual y propuesta futura.

**MODELO ENERGÉTICO ACTUAL (tendencia)**



**MODELO ENERGÉTICO FUTURO (propuesta)**



**Cuadro 7:** Indicadores de sostenibilidad con relación a la energía.

enunciado	formulación	unidades	correspondencia con los flujos del modelo	escala del indicador	incidencia en el modelo	descripción
Consumo de energía primaria $E_1$		Kw / a Kwh / ha / a Kwh / m <sup>2</sup> / a	(b) (b) / hab / a (b) / m <sup>2</sup> / a	Global	Sistemas de soporte	Representa la energía total consumida por el sistema urbano. Desde su generación hasta su consumo final.
Consumo de energía final $E_s$		Kw / a Kwh / ha / a Kwh / m <sup>2</sup> / a	(h) (h) / ha / a (h) / m <sup>2</sup> / a	Global	Sistemas de soporte y sistema urbano	Es la energía consumida directamente por el sistema urbano
Eficiencia energética $E_e$	$(E_s / E_1) \cdot 100$	%	(h) / (b)	Global	Sistemas de soporte y sistema urbano	Expresa la energía final consumida en relación a la energía total consumida
Consumo de energía renovable $E_r$		Kw / a Kwh / ha / a Kwh / m <sup>2</sup> / a	(d) (d) / ha / a (d) / m <sup>2</sup> / a	Global	Sistemas de soporte y sistema urbano	Es la energía consumida de carácter renovable, es decir procedente, directa o indirectamente, del sol
Proporción de consumo de energía de origen renovable local	$(E_r / E_1) \cdot 100$	%	$[(g) / (b)] \cdot 100$	Global	Sistemas de soporte y sistema urbano	Es uno de los indicadores que informa de la presión sobre los sistemas de soporte y su reducción
Generación de residuos nucleares		t/a		Global	Sistemas de soporte	Expresa la cantidad de residuos de distinta actividad radiactiva generados en un año

## 4.2. La gestión del agua: modelos e indicadores de sostenibilidad

### 4.2.1. ¿Atender la oferta o regular la demanda?

Hasta el momento, la gestión del agua ha consistido en garantizar la oferta de este recurso, asegurando la calidad para los usos previstos, sin tener en cuenta la demanda (aplicando un modelo de gestión distinto con nuevos criterios) ni la preservación de los ecosistemas naturales.

Un modelo de gestión del agua con tintes de sostenibilidad debe preservar el entorno manteniendo una determinada complejidad del mismo, a la vez que tiene que proveer agua al sistema urbano para el mantenimiento de su organización. Ello es posible si el modelo se desarrolla con la intención (para aumentar la capacidad de anticipación) de disminuir la presión sobre los ecosistemas que también son demandantes de agua, a través de reducir la extracción de recursos y de disminuir la carga contaminante vertida en la cuenca.

Las oportunidades de reducción se centran: a) en un incremento de la extracción de recursos locales sin sobrepasar la explotación que lo preserve de otros impactos indeseables; b) en el ahorro significativo del agua; c) en la reutilización del agua depurada; y d) en el aprovechamiento del agua de lluvia.

El segundo aspecto básico del modelo es la reducción del impacto contaminante producido por el vertido de agentes físicos, químicos y biológicos en el medio acuático.

### 4.2.2. La apropiación humana de los recursos hídricos

La apropiación de un determinado porcentaje de agua de la cuenca debería establecerse teniendo en cuenta las necesidades del resto de los ecosistemas que, como el hombre, necesitan del agua para mantener su organización.

La proporción de los tres tercios podría establecerse como una primera propuesta a expensas de ser corroborada o no de manera particular para cada cuenca. Un tercio de agua sería apropiada por el hombre para su consumo, un segundo tercio tendría los ecosistemas terrestres como destino y un tercer tercio debería ser disponible por los sistemas acuáticos que necesitan, como hemos dicho de un caudal mínimo para su persistencia. El mar debería recibir, al menos, un tercio del agua caída en la cuenca, por las razones antes indicadas.

Cualquier modelo de gestión del agua debe tener en cuenta el mantenimiento de los ecosistemas en la cuenca hidrográfica y también los que por gravedad se conectan con ellos en el frente marino.

### 4.2.3. El modelo de ordenación del territorio y el consumo de agua

El modelo de ciudad difusa tiene graves consecuencias para el ciclo del agua en una cuenca hidrográfica puesto que:

- Impermeabiliza una parte significativa de la cuenca, lo que unido a la canalización de los cauces, hace que aumente la velocidad del agua de lluvia caída en cualquier parte de la cuenca hasta el mar.
- La impermeabilización en las áreas llanas de la cuenca reducen las áreas de infiltración del agua.
- Las infraestructuras urbanas, en especial la red de carreteras y vías segregadas son causantes también de distorsiones en el movimiento por gravedad del agua hacia el mar, provocando desvíos de los flujos de agua, que unidos al aumento de velocidad citado, produce inundaciones cuando el agua caída se produce de forma torrencial.
- La construcción masiva de viviendas unifamiliares en urbanizaciones dispersas en el territorio, con piscina y jardín supone un consumo de agua significativamente mayor que las tipologías de vivienda de la ciudad compacta.

### 4.2.4. Las medidas de ahorro del agua.

La tecnología actual tanto en el ámbito doméstico, como en los sectores industriales y de servicios, permite reducciones significativas en el actual consumo de agua. En todos los casos se puede reducir, al menos, un 30% del consumo actual de agua. El ahorro puede empezar evitando las actuales pérdidas de las redes de suministro, y continuar con la desmaterialización de los servicios que se prestan mediante el agua: limpieza, riego, transporte de residuos, etc..

### 4.2.5. El aprovechamiento del agua reutilizada, de lluvia y de acuífero: redes separativas y depósitos de laminación.

- El uso de agua de procedencia local o de agua depurada puede suministrarse en redes separativas para usos públicos o industriales que no requieran agua potabilizada. El agua para riego y espacios públicos supone en muchos casos el 50% más del total de agua consumida en la ciudad.
- El agua puede ser almacenada en depósitos que pueden tener funciones de suministro a las redes separativas de retención y laminación para evitar inundaciones, y funciones para evitar las descargas al medio de aguas pluviales y residuales por saturación de la red de alcantarillado.
- El agua depurada puede reutilizarse para usos industriales, agrícolas y ganaderos en áreas periféricas de la ciudad, así como el mantenimiento de las zonas húmedas.

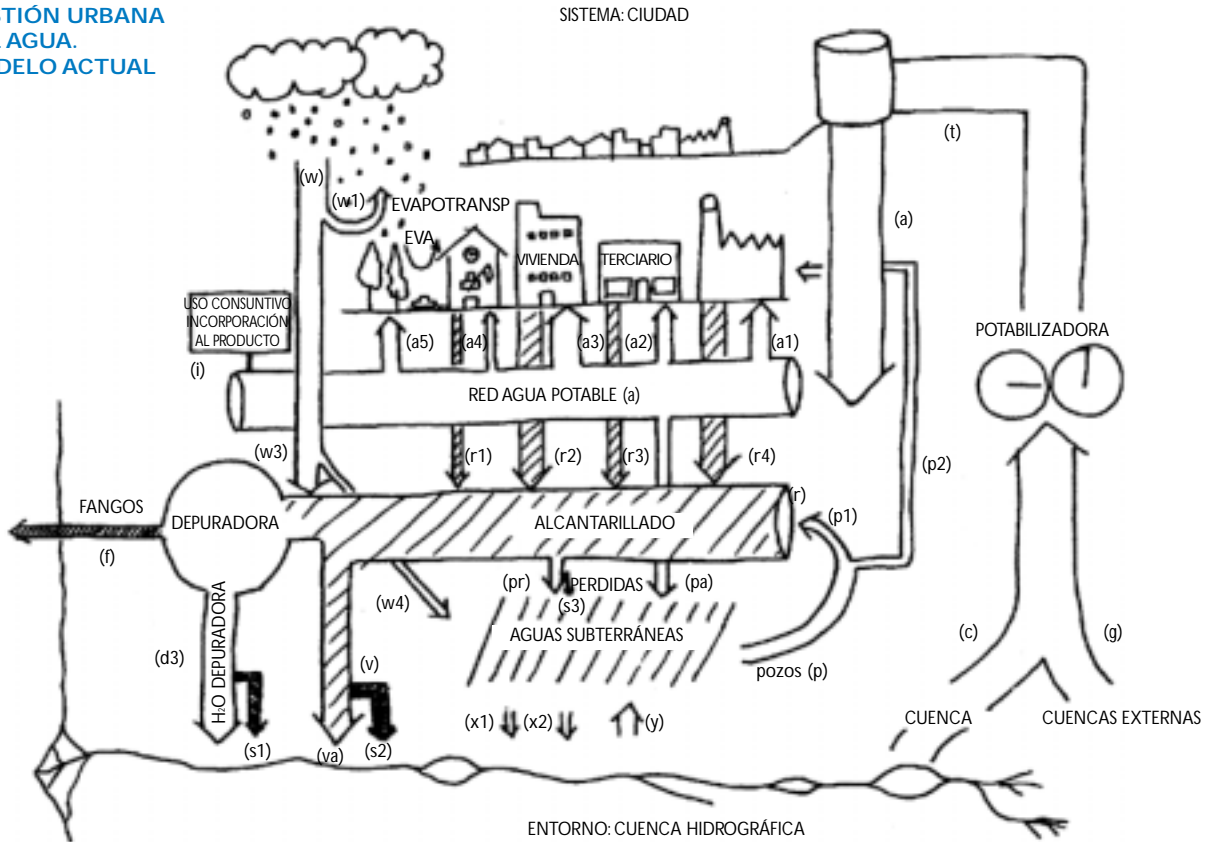
**Cuadro 8:** Indicadores de sostenibilidad con relación al agua.

enunciado	unidades	correspondencia con los flujos del modelo	escala del indicador	incidencia en el modelo	descripción
Porcentaje de apropiación del agua de la cuenca	%		Cuenca	Sistemas de soporte	es un indicador de apropiación humana del agua. La apropiación de un determinado porcentaje (se propone no sobrepasar 1/3 del total) debería hacerse teniendo en cuenta las necesidades del resto de ecosistemas
Área de cuenca necesaria para el abastecimiento	km <sup>2</sup>		Cuenca	Sistemas de soporte	es la superficie de cuenca necesaria para abastecer de agua potable al sistema urbano. El cálculo se realiza para un año normal y un año seco. Consiste en saber el caudal específico (l/seg. km <sup>2</sup> ) que transcurre como agua superficial y que se deriva para abastecimiento urbano.
Superficie impermeabilizada	ha		Cuenca	Sistemas de soporte	Cantidad de superficie ocupada por edificaciones, infraestructuras y superficies impermeables en el territorio. El cálculo debe hacerse, también, en relación al suelo con pendiente <10 %.
Aportación de agua para el consumo (A)	km <sup>3</sup> / a m <sup>3</sup> / hab / a	$A = (a) + (w_2) + (d_1) - (d_2) + (p_1) + (p_2) + (1)$	Cuenca	Sistemas de soporte	es la suma de los flujos que entran en el sistema urbano para su consumo
Uso de agua local (A <sub>l</sub> )	km <sup>3</sup> / a m <sup>3</sup> / hab / a	$[(p) + (d_1) + (d_2) + (w_2) + (1) / A - w_2 + w] \cdot 100$	Cuenca	Sistemas de soporte	indica el porcentaje de agua que evitamos extraer de los sistemas de soporte. Da idea de la autosuficiencia del sistema en relación a este recurso
Vertidos al medio (V)	tn / a tn / hab / a	$V = (S_1) + (S_2) + (S_3)$ $V = (S_1) + (S_2) + (S_3) + (f)$ sino se reutilizan los fangos	Cuenca	Sistemas de soporte	consiste en saber la cantidad de contaminación en peso que se vierte al sistema hídrico.

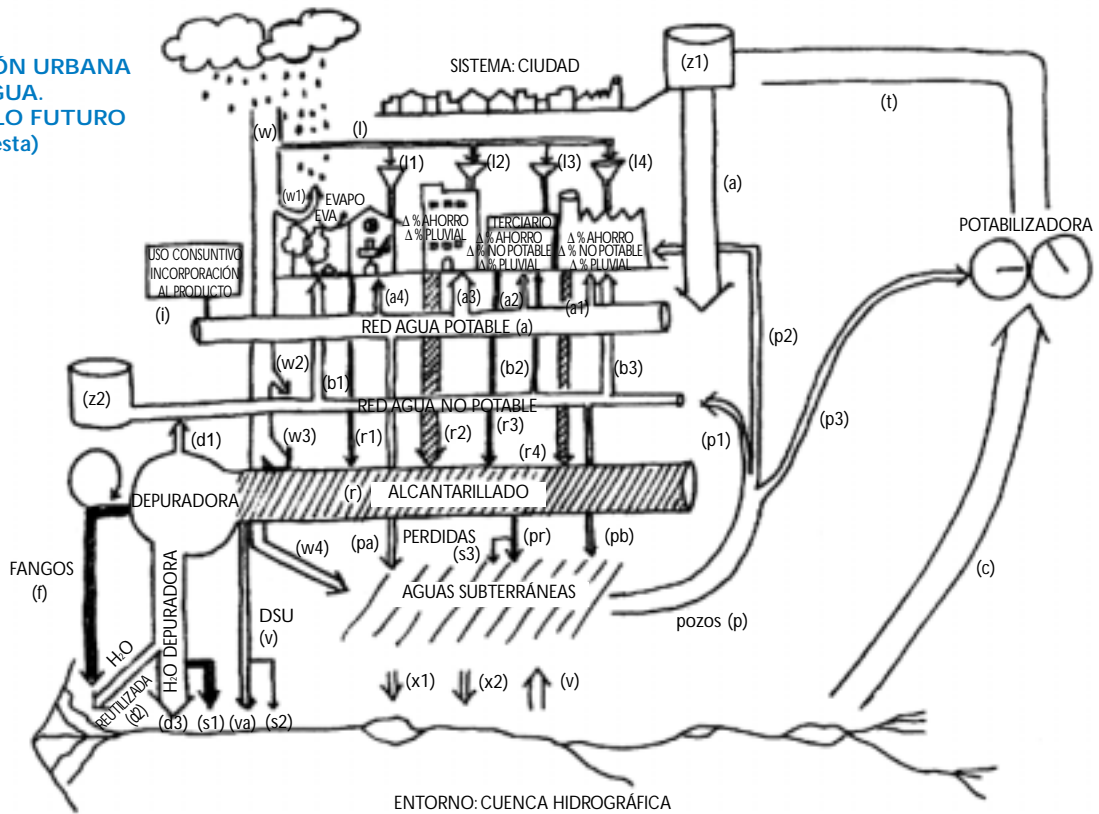


Figura 8: Modelos de gestión de aguas.

**GESTIÓN URBANA DEL AGUA. MODELO ACTUAL**



**GESTIÓN URBANA DEL AGUA. MODELO FUTURO (propuesta)**



#### 4.2.6 La depuración del agua.

En Europa el año 2005 es la fecha a partir de la cual no pueden verterse residuos líquidos urbanos sin depuración previa (la directiva europea lo impone para los núcleos con población superior a los 2000 h-e).

En algunos ríos, en especial algunos de la cuenca mediterránea, con poco caudal, será necesario, realizar tratamientos terciarios, ya que la dilución de los vertidos depurados es insuficiente para preservar los ecosistemas acuáticos.

### **4.3. Modelos e indicadores para una gestión de residuos más sostenible**

En los esquemas adjuntos se dibujan dos escenarios que representan los flujos materiales que van desde los sistemas de soporte representados aquí con un globo terráqueo, -de hecho los materiales que llegan a la ciudad ahora proceden de cualquier parte del mundo - hasta el sistema urbano. Las materias primas sacadas de los sistemas de soporte son canalizadas hacia la red de transformación industrial, que los convierte en bienes de consumo, que serán consumidos en la ciudad.

Por otro lado, el tratamiento y disposición de los materiales abandonados (residuos) canalizan el retorno de los materiales consumidos hacia los sistemas de soporte en forma de impacto contaminante o bien como recursos recuperados, que serán depositados en el suelo en forma de compost o entrarán en la red industrial como materias secundarias.

En el centro del esquema se representa el modelo de gestión de residuos municipales. Los flujos materiales en el conjunto del escenario se modificarán, en función del modelo de gestión escogido. Un modelo de gestión de residuos en el marco de la sostenibilidad ha de procurar reducir la explotación de materiales, es decir reducir la cantidad de materias primas extraídas de los sistemas de soporte y también reducir la presión por impacto contaminante sobre los sistemas de la Tierra.

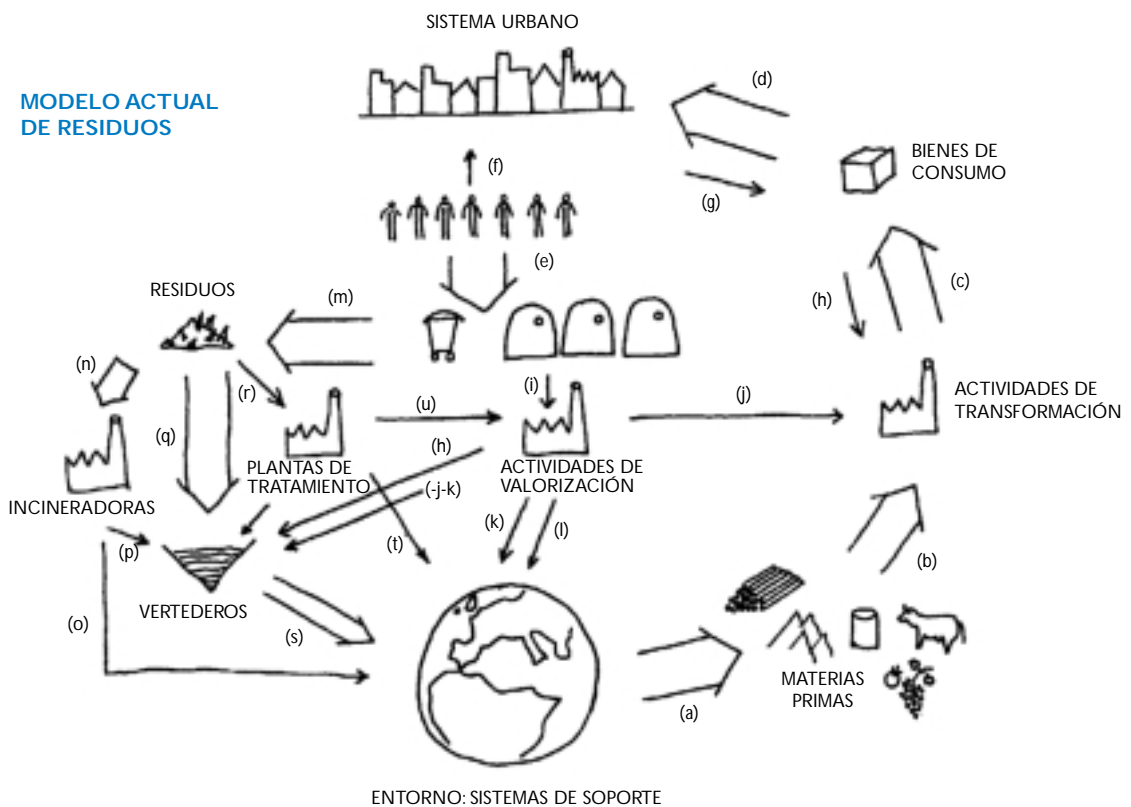
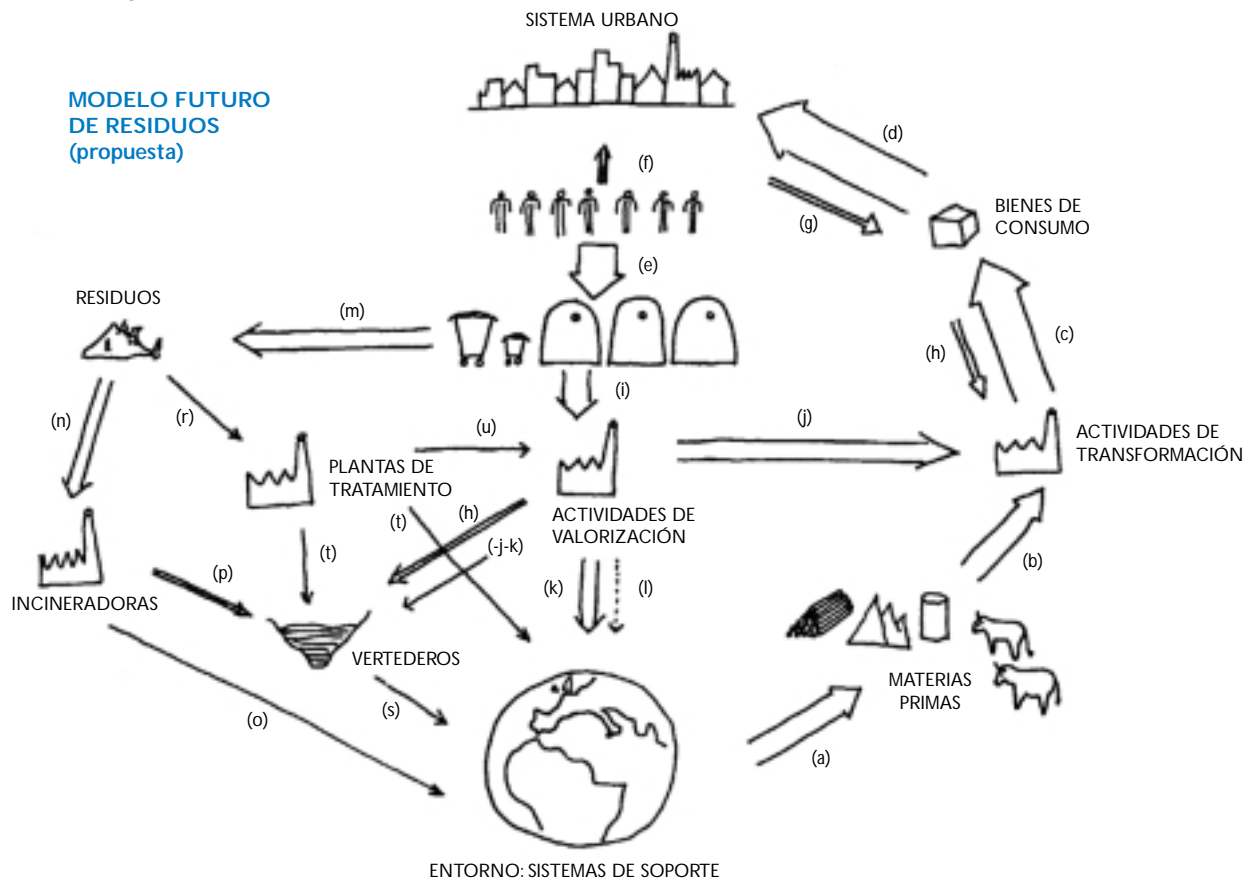
El primer esquema representa el modelo de gestión de residuos municipales actual, poniendo como ejemplo el Área Metropolitana de Barcelona. La ciudad para mantenerse organizada necesita consumir materiales y energía proveniente de los sistemas de soporte (entorno) que serán explotados para extraer los recursos naturales -materias primas- (flujo (a)), que serán transportados a la red industrial de transformación (b) que a su vez los convertirá en bienes de consumo (c), que serán consumidos en la ciudad (e). Parte de estos materiales consumidos pueden ser reutilizados (f) (por ejemplo los envases retornables, muebles, ropa, etc.) La reutilización actual es prácticamente testimonial, en relación al volumen de residuos generados. En la actualidad, los materiales consumidos (e) se destinan al abandono en su mayor parte -el 96 % de los materiales que son residuos- recogiendo selectivamente sólo un 4%, que se consideran recursos potenciales (i). Los materiales seleccionados ya sean orgánicos o inorgánicos, pasan por actividades de valorización que los tratan para inyectarlos como materiales inorgánicos recuperados en la red industrial (j), o para enriquecer el suelo, cuando son materiales orgánicos estabilizados (k). Los impropios recogidos selectivamente serán separados y considerados como residuos para eliminar (h).

Los flujos destinados al abandono (m) se convierten en residuos, que serán depositados en el vertedero (la mayor parte) (q) o en las incineradoras (n), cuando se trata de residuos ordinarios, o también serán llevados a plantas de tratamiento, cuando los materiales sean o contengan residuos especiales (pilas, fluorescentes, neveras, etc.) (r).

La gestión actual de determinadas instalaciones de disposición hace que su impacto contaminante sea significativa, tal y como se refleja en los flujos (o) (s) y (l) aunque están en vías de una reducción significativa, tanto para las incineradoras que refuerzan su sistema de depuración, como el vertedero que tratará sus lixiviados in situ y aprovechará parte del biogás que hoy se emite a la atmósfera.

El segundo escenario representa la unidad sistema-entorno con un modelo de gestión de residuos pensado para reducir la presión tanto por explotación como por impacto contaminante sobre los sistemas de soporte.

Figura 9: Modelos de residuos urbanos.



La red de flujos tiene el mismo significado que en el esquema anterior (modelo actual de gestión de residuos). Lo que se propone en el modelo de gestión de residuos futuro es: 1.- aumentar los flujos de reutilización de materiales (f), (g) y (h); 2.- aumentar el flujo de residuos orgánicos e inorgánicos recogidos selectivamente (i) y recuperados para ser inyectados en la industria (j) y depositados en el suelo en forma de compost (k).

Una mayor reutilización y recuperación de materiales permite reducir el nivel de presión por explotación de los sistemas de soporte, es decir, la entrada a la industria de una cantidad mayor de materiales inorgánicos recuperados (j) hace que la cantidad de materias primas (a y b) a extraer de los sistemas de soporte pueda ser menor. A la vez, una mayor aportación de compost al suelo supone una mayor biofertilidad de los suelos y también una reducción de abonos inorgánicos.

El escenario futuro propone también: 3.- reducir la cantidad de materiales destinado a su abandono (n) y 4.- reducir las emisiones y vertidos en las instalaciones de disposición. Para ello están aumentando los niveles de exigencia de los sistemas de depuración de las incineradoras, y ha de reducirse la cantidad de materiales de aportación directa al vertedero; en el escenario futuro no ha de llegar ningún flujo residual que no haya pasado previamente por una instalación de tratamiento o valorización, es decir, solamente pueden llegar rechazos. Por último, ha de aprovecharse el biogás del vertedero cuya emisión hoy es, para la Área Metropolitana de Barcelona, uno de los factores que más contribuyen al efecto invernadero.

**Cuadro 9:** Indicadores de sostenibilidad con relación a los residuos.

enunciado	formulación	unidades	correspondencia con los flujos del modelo	escala del indicador	incidencia en el modelo	descripción
Generación de residuos		tn/a tn/hab/a	(e)	Global	Sistemas de soporte	es el resultado del consumo de materiales en el sistema urbano. Su evolución indica el nivel de minimización o aumento en el consumo de recursos.
Proporción de materiales reutilizados y reciclados	fórmula <sup>(1)</sup>	%	fórmula <sup>(2)</sup>	Global	Sistemas de soporte	este indicador expresa la cantidad de materiales que se convierten de nuevo en recursos, respecto al total de residuos generados.
Balance energético de la gestión de residuos	fórmula <sup>(3)</sup>	Gjth Gjth/ha		Global	Sistemas de soporte	establece el grado de recuperación energética del modelo de gestión de residuos.
Emisiones de gases de efecto invernadero	fórmula para las proporciones IPCC	ton/a		Global	Sistemas de soporte	aunque se propone un cálculo global en otro apartado, se propone calcular las emisiones de CO <sub>2</sub> generadas con el modelo de gestión de residuos

(1) (residuos reutilizados + residuos reciclados) · 100/generación de residuos.

(2)  $[f + j + k + u - (g - k) / e] \cdot 100$ .

(3) Consumo energético - (recuperación de energía + ahorro por reciclaje)

#### 4.4. Modelos de gestión urbanos y sus emisiones a la atmósfera

La contaminación perturba el adecuado retorno del transporte horizontal de materia y energía (cortocircuita el ciclo de los materiales traídos hasta la ciudad), siendo la contaminación, en buena medida, una consecuencia del transporte.

##### 4.4.1. Emisiones a la atmósfera: causas

###### 4.4.1.1. Las emisiones atmosféricas y el modelo energético

El hombre crea sistemas de control y amplificación de las vías de energía externas cada vez más poderosos. La emisión de contaminantes a la atmósfera es fruto, en buena parte, del uso masivo de energía exosomática de origen mineral y también de la transformación de mayores cantidades de materiales.

Un mayor o menor volumen de contaminantes emitidos a la atmósfera dependerá, en primera instancia, del modelo de gestión de energía. Sabemos que las energías renovables de origen solar (biomasa, fotovoltaica, fototérmica, etc) suponen una generación entrópica mínima y por tanto emisiones reducidas (las correspondientes al instrumental y los mecanismos de gestión y captación). Apoyar la organización urbana en energías renovables es básico para disminuir el impacto sobre la atmósfera.

#### 4.4.1.2. Modelos de ciudad y contaminación atmosférica

El modelo de implantación urbana en el territorio puede ser responsable de buena parte de las emisiones generadas, ya que de él dependen el modelo de movilidad -el transporte es el factor que mayor contaminación genera en la mayoría de sistemas urbanos-, las tipologías edificatorias y los tipos de actividad industrial compatible o no con otros usos urbanos (se supone que actividades compatibles con otros usos, por ejemplo los residenciales, son poco contaminantes). El modelo de ciudad compacta puede, en principio, reducir sustancialmente las emisiones respecto a los modelos urbanos dispersos y desparramados sobre el territorio.

#### Cuadro 10

*La totalidad de las flotas de limpieza y recogida de basuras del área metropolitana de Barcelona, y la totalidad de la flota de autobuses metropolitanos, cerca de 900 autobuses, que en conjunto consumen 21 millones de litros de gas-oil, podrían funcionar con biogás del vertedero de basuras de Garraf, que hoy se emite a la atmósfera con el consiguiente impacto sobre ésta.*

#### 4.4.1.3. Las emisiones de las actividades industriales.

Los procesos industriales son generadores de contaminación atmosférica, que proviene del consumo de energía y de la transformación de los flujos materiales. El diseño de los productos y bienes de consumo, así como el diseño de los propios procesos productivos y la eficiencia tecnológica de los mismos, serán los responsables de una mayor o menor emisión de contaminantes.

#### 4.4.1.4. Las emisiones generadas por los servicios.

Los servicios urbanos de recogida y tratamiento de los residuos, los servicios de aporte de combustibles energéticos; por ejemplo el gas, etc., son causa de emisiones en función de los modelos de gestión que se apliquen.

Muchas ciudades disponen sus residuos en vertederos sin absorber el biogás generado en él. Las emisiones de metano y otros componentes pueden ser dependiendo de las características del vertedero, importantes. Lo mismo puede suceder con las pérdidas en la red urbana de gas natural.

### 4.4.2. Emisiones a la atmósfera: consecuencias

#### 4.4.2.1. Incidencia de las emisiones antropogénicas en el sistema atmosférico

La oxidación acelerada de los compuestos reducidos de carbono, nitrógeno y azufre que se habían acumulado en la necrosfera a lo largo de los tiempos geológicos, junto con la emisión de CFCs y otros gases y partículas, son los responsables antropogénicos de un probable cambio climático, de un aumento del agujero de ozono, de la reducción de compuestos oxidantes en la atmósfera y de un aumento de las lluvias ácidas en algunas regiones de la Tierra.

La disminución de la capa de ozono estratosférico, la reducción de la capacidad de oxidación atmosférica y el aumento de la temperatura del aire, son los tres fenómenos que hoy se presentan como más problemáticos, con capacidad para modificar la composición de la atmósfera global y de alterar en consecuencia, el papel fundamental de la atmósfera en el equilibrio del sistema ecológico mundial.

#### 4.4.2. Incidencia de las emisiones en la atmósfera urbana

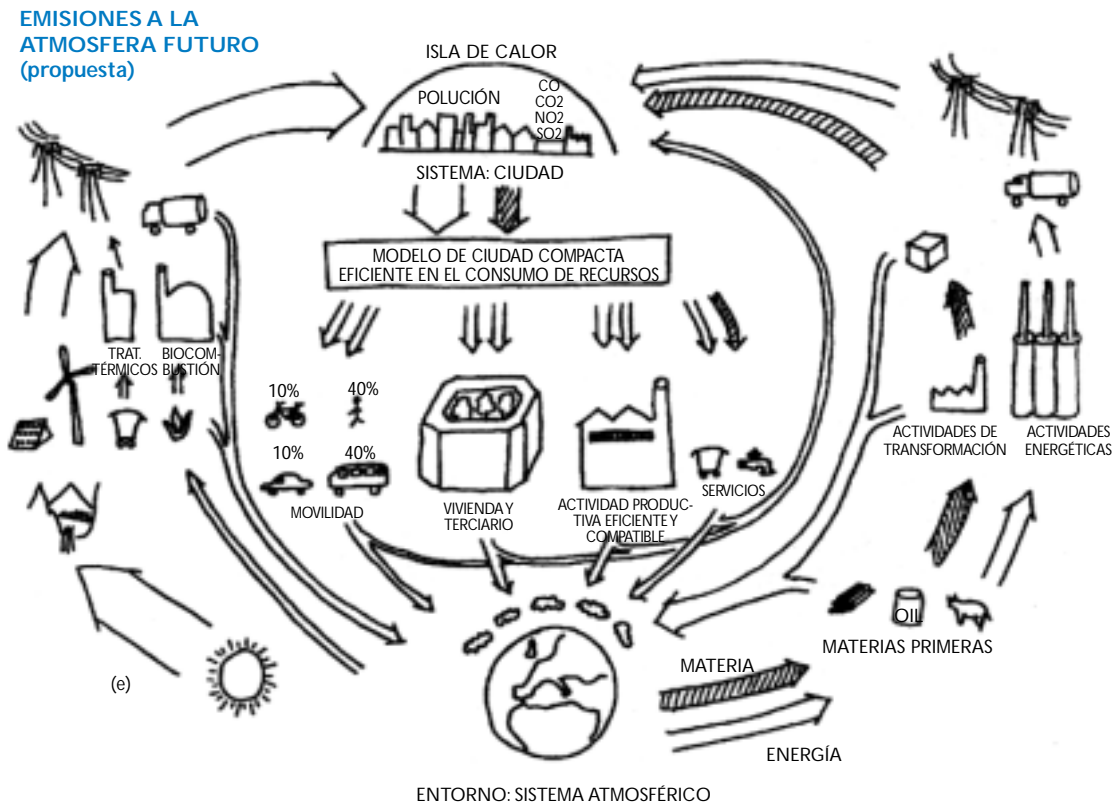
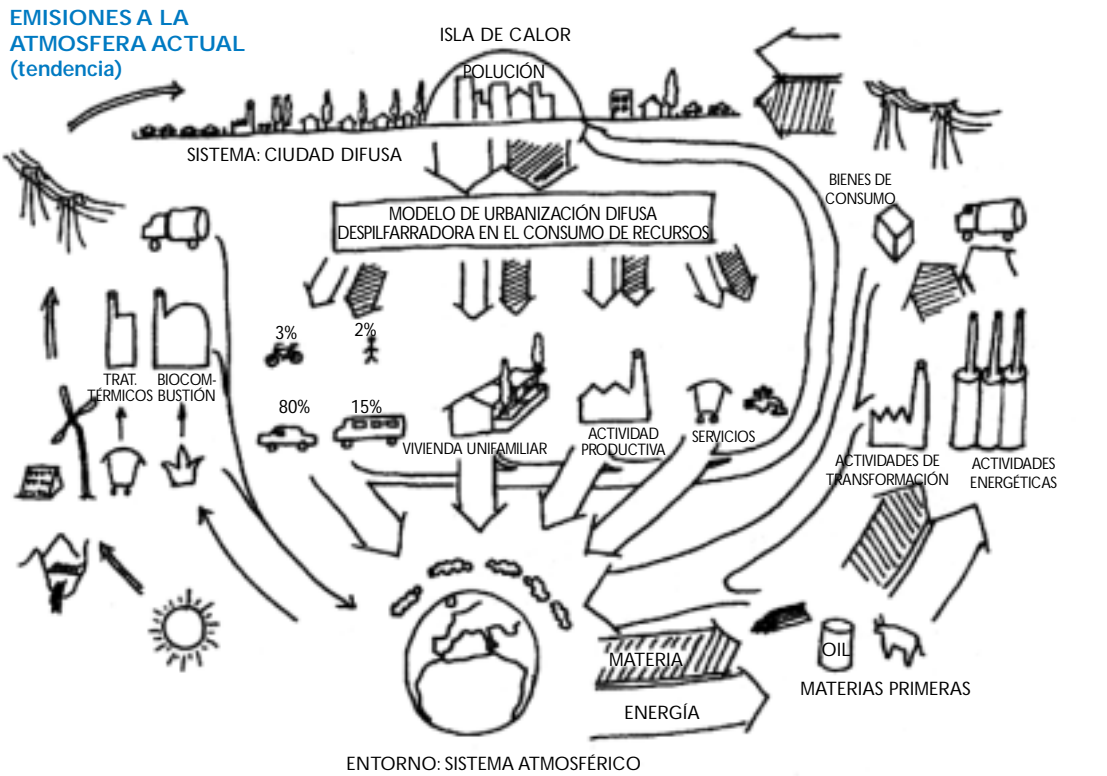
La atmósfera urbana se comporta como un reactor químico extremadamente complejo del cual forman parte una serie de compuestos químicos y físicos que se interrelacionan de manera diversa, en función de los ritmos diarios y estacionales (radiación luminosa, temperatura, humedad, etc.), de las características meteorológicas del momento (viento, precipitaciones, presión atmosférica, inversiones de temperatura, etc.), de las características geográficas del enclavamiento de la ciudad, de las características estructurales del sistema urbano, de las actividades emisoras de contaminantes y sus ritmos temporales de emisión, etc. La reacción de algunos componentes extraños a la composición normal de la atmósfera (contaminantes primarios), con algunos parámetros físicos como, por ejemplo, la radiación solar, dan lugar a nuevos contaminantes, denominados secundarios, como el ozono troposférico, ya que se encuentra como componente de la niebla fotoquímica o smog, los aerosoles ácidos y los hidrocarburos carcinogénicos, varias veces más nocivos que sus precursores directamente emitidos en la atmósfera.

Las características de emisión, geográficas, etc. determinarán la calidad de la atmósfera urbana. Los indicadores que se suelen emplear están íntimamente relacionados con los niveles previamente legislados. Éstos atienden a los efectos potenciales que determinadas emisiones tienen para la salud de las personas y para los ecosistemas. Para situaciones episódicas de alta contaminación atmosférica por causas de estabilidad atmosférica, el percentil 98 de las concentraciones de determinados contaminantes, suele ser un buen indicador de éstas.

**Cuadro 11:** Indicadores de sostenibilidad con relación a la contaminación atmosférica.

enunciado	unidades	correspondencia con los flujos del modelo	escala del indicador	incidencia en el modelo	descripción
Emisiones de CO <sub>2</sub>	-	t / a kg / hab / a kg / km <sup>2</sup>	Global	Sistemas de soporte	Estimación de las emisiones de CO <sub>2</sub> de todas las fuentes primarias y finales generadoras de este gas.
Emisiones de CH <sub>4</sub>	-	t / a kg / hab / a kg / km <sup>2</sup>	Global	Sistemas de soporte	Suma las emisiones de CH <sub>4</sub> generadas por el conjunto de fuentes primarias y finales.
Emisiones de gases con efecto invernadero.	Propuesta IPCC	t / a CO <sub>2</sub> equivalente	Global	Sistemas de soporte	Se suman las concentraciones de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O y CFC's ponderándolas en función de su capacidad de absorción térmica. La dificultad para estimar las cantidades de los dos últimos contaminantes, aconseja realizar los cálculos con las emisiones de metano y dióxido de carbono.

Figura 10: Modelos actual y futuro (propuesta) de emisiones a la atmósfera.



## 5. APROPIACIÓN HUMANA DE LOS RECURSOS NATURALES: CAPACIDAD DE CARGA E INDICADORES AFINES

### 5.1. La capacidad de carga

La capacidad de carga se define en ecología como la población máxima de una especie que puede mantenerse sustentablemente en un territorio sin deteriorar su base de recursos. Este concepto hace referencia al grado de explotación y presión entrópica a que podemos someter a los ecosistemas que soportan nuestra vida y nuestras organizaciones, manteniendo una razonable conservación de dichos sistemas de soporte. El grado de explotación y presión entrópica esta en función, básicamente, de la población que dicho territorio ha de mantener y la tasa de consumo de recursos per cápita. Debido a la expansión del comercio y la tecnología, puede parecer que la capacidad de carga de un territorio no es demasiado relevante, puesto que se pueden importar recursos localmente escasos, exportando residuos o ir eliminando determinadas especies para aumentar nuestra capacidad de producción. Esto sería cierto si los recursos planetarios fueran ilimitados, pero esto no es así. Hoy el grado de explotación al que sometemos al conjunto de ecosistemas de la Tierra es de magnitud suficiente para afirmar que su capacidad de carga esta comprometida en su conjunto. La disponibilidad "ecológica" de la tierra en el Planeta ha disminuido durante este siglo.

La idea de capacidad de carga tiene, no obstante, una serie de dificultades para su uso en el caso de los humanos (Martínez Alier, J.), sobretodo cuando se refiere a la capacidad de carga para poblaciones y territorios concretos.

La tecnología puede reducir directamente la capacidad de carga incrementando el flujo de energía y materiales a corto plazo a través de los ecosistemas explotados. Esto parece mejorar la productividad de los sistemas mientras, realmente, lo que hace es erosionar la base de los recursos (Rees 1996).

El comercio puede liberar a una población local de las limitaciones de su propio territorio; pero solamente desplaza la carga a otro sitio. En efecto, las poblaciones locales incorporan "excedentes" de la capacidad de carga de otras. El comercio puede llevar a una disminución de la capacidad de carga global, pues al acceder a importaciones baratas (por ejemplo comida), no hace falta ya conservar el propio capital natural local (por ejemplo la tierra de cultivo) y además se acelera el agotamiento del capital natural en regiones explotadoras distantes (Rees 1996). Lo grave es que el movimiento de mercancías es libre en todo el mundo, pero no así el de personas. El flujo neto de los materiales y energía sin degradar tiene una clara direccionalidad desde el Sur hacia el Norte y de las personas al revés. Las poblaciones del Sur tienen restringida la movilidad hacia los países del Norte aunque sean estos los que se aprovechen de los recursos de los países menos desarrollados.

Los problemas en la dinámica de las poblaciones aparecen unidos a la desigualdad en el uso de la energía y los recursos. En términos ecológicos, la relación entre los índices de aumento de la energía consumida y las tasas de aumento del número de individuos permite indicar la distribución entre poblaciones ricas y pobres, entre ciudades y países del norte y del sur.

Para periodos de tiempo cortos, Margalef propone la siguiente expresión:

$$(NE)_t = (NE)_0 \cdot e^{(r+f) \cdot t}$$

En que  $(NE)_0$  representa el producto del número de individuos existentes en un determinado momento por la energía total usada por individuo;  $(NE)_t$ , el mismo producto una vez transcurrido un tiempo  $t$ , y  $r$  y  $f$ , las tasas de aumento neto del número de individuos y de la energía total usada por individuo, respectivamente.



## 5.2. La huella ecológica

Algunos autores han definido la capacidad de carga como las tasas máximas de utilización de recursos y generación de residuos (la carga máxima) que pueden sostenerse indefinidamente sin deteriorar progresivamente la productividad e integridad de los ecosistemas donde quieran que estén. La capacidad de carga viene a expresar la población que se podría mantener con relación a la superficie explotada. Wackernagel y Rees proponen darle la vuelta a la relación que expresa la capacidad de carga (habitantes/unidad de superficie) por su inversa denominándola "huella ecológica". En lugar de preguntarnos cuánta población puede mantener una región determinada, la cuestión es: ¿Qué superficie de suelo productivo es necesaria para mantener una población determinada, independientemente de donde sea que se encuentre este suelo? (Rees, 1992; Rees y Wackernagel, 1994; Wackernagel y Rees, 1995).

Para el cálculo de la huella ecológica se estima el área de suelo/agua requerida para producir "sosteniblemente" la cantidad de cualquier recurso o servicio ecológico utilizado por una población definida, a un nivel tecnológico determinado. La suma de estos cálculos para todas las categorías de consumo, nos dará una estimación del capital natural requerido por una población, medido para un territorio.

Las ciudades y regiones urbanas dependen hoy para sobrevivir y crecer de un vasto y creciente hinterland global de territorios productivos. Los sistemas urbanos se apropian necesariamente de la producción ecológica y de las funciones de soporte de la vida de regiones distantes de todo el mundo a través del comercio y los ciclos bioquímicos de materia y energía. El área de suelo/agua requerida para mantener los flujos de materiales, energía y sus degradados requeridos por una determinada población es la denominada "huella ecológica" de la población en cuestión. Su cálculo nos permite tener una medida aproximada de las necesidades de capital natural de cualquier población, en comparación al suministro disponible (Rees 1996).

## 5.3. La apropiación humana de la producción primaria neta (PPN)

La PPN es la cantidad de energía que los productores primarios, las plantas, ponen a disposición del resto de las especies vivientes, los heterótrofos.

Todos los seres vivos dependemos de los excedentes que nos proporcionan los organismos autótrofos. Actualmente nos "apropiamos", directa o indirectamente, del 40% de la producción fotosintética neta, es decir aquella producción "excedente" una vez descontada la necesaria para la vida vegetativa y reproductiva de la planta (Vitousek et al. 1986) y del 25-35% de la producción primaria litoral (Paul y Cristensen 1995). Desde 1989 las capturas de pesca han disminuido en todo el mundo excepto en el Índico.

Podría creerse que la capacidad de carga puede crecer, aumentando la tasa de apropiación de la producción primaria neta, (PPN), pero ello llevaría a la extinción de muchas especies. Si la población aumenta en exceso o lo hace la tasa de apropiación de la PPN, la situación podría hacerse crítica para el conjunto de organismos vivos y con ellos la nuestra propia, puesto que sin ellos nosotros no podemos sobrevivir.

Este indicador es realmente interesante puesto que incide en la base del sustento del conjunto de organismos del Planeta. Como es lógico, tiene una relación estrecha con la capacidad de carga y con el concepto de huella ecológica; los tres hacen referencia a la idea de apropiación y uso de los recursos naturales.

## 5.4. La mochila ecológica (MIPS)

Es un indicador desarrollado por el Instituto Wuppertal, que añade todos los materiales utilizados directa o indirectamente para cada unidad de servicio ("la mochila ecológica"), medidos en toneladas. Compara el insumo material medido en toneladas con los servicios proporcionados sector por sector y, en principio, para toda la economía. Las comparaciones del MIPS permitirán establecer las diferencias espaciales y temporales en el consumo de recursos y en consecuencias podemos saber si se avanza o no en la desmaterialización de la economía o de nuestros modelos de gestión. Como plantea Martínez Alier, J (1998), se puede objetar que medir toneladas de materiales no informa sobre la toxicidad de éstos.

Otro aspecto en discusión, sobre todo en el ámbito de la economía ecológica, es la idea misma de servicio y el sentido de las necesidades, cuestiones básicas pero que no se desarrollan en este documento.

## 5.5. EROI

Este acrónimo significa Energy Return On (Energy) Input y fue el primer indicador físico empleado en la economía ecológica en la década de los setenta, principalmente por discípulos directos o indirectos de Howard Odum. De hecho la idea de ver la economía de la sociedad humana y particularmente, de la agricultura como un flujo de energía, se debe al trabajo de Podolinsky en la década de los ochenta del siglo pasado (Martínez Alier, 1998). El EROI trata de averiguar la eficiencia del uso de energía en diferentes sectores de la economía; se trata de saber si los insumos de una actividad determinada son mayores o menores que la energía que se obtiene con dicha actividad.

## 6. DEBATE Y CONCLUSIONES

Durante el taller se plantearon diversas cuestiones para abrir el debate. Algunas de ellas fueron tratadas y se hace mención de ellas en las conclusiones; debido a la falta de tiempo, otras no fueron discutidas. Por ello han sido incluidas aquí, en este documento, con la esperanza de que sean discutidas en otros seminarios, en otros lugares, si se juzga conveniente.

### 6.1. Las cuestiones debatidas

- ¿El modelo analítico P-E-R es el modelo adecuado para la formulación de los indicadores urbanos?
- ¿El modelo sistema-entorno es un modelo con contenido teórico suficiente para el diagnóstico, la planificación y el seguimiento de los modelos de gestión urbanos? ¿Es interesante y viable un instrumento de cálculo?
- ¿Tiene sentido establecer indicadores sin haber propuesto un plan o programa sobre la cuestión que se quiere indicar?
- ¿Sin un modelo de gestión que los enmarque, tienen sentido los indicadores? ¿Indicadores urbanos para ir a dónde?
- ¿Los indicadores deben ser participados y consensuados con la sociedad civil?
- ¿Es posible competir con una estrategia basada en la información y no en el consumo de recursos: suelo, materiales, y energía?
- ¿Los procesos hacia la sostenibilidad son incompatibles con la actual lógica económica?

### 6.2. Conclusiones extraídas del taller

El taller sobre "Indicadores de huella y calidad ambiental urbana" se centró en el análisis de modelos e indicadores para ciudades más sostenibles, y con ello se llegó a las conclusiones siguientes:

**a)** la definición de conjuntos de indicadores debe, necesariamente, estar ligada con la formulación de modelos de ciudad para que su seguimiento sea posible. Se entiende que los indicadores deben referirse a un objetivo, de manera que el valor del indicador nos diga si nos estamos acercando o desviando de nuestro propósito. La referenciación de indicadores a unos objetivos debe estar entendida dentro de un marco teórico global, en el cual estos no entre en contradicción entre sí. El marco teórico global debe explicitarse en modelos sistemáticos que permitan la integración de criterios y objetivos.

**b)** Se llegó a la conclusión de que el modelo actual de ciudad difusa es claramente insostenible y que es necesario promover el modelo mediterráneo de ciudad compacta y compleja, como modelo de referencia, incorporando las mejoras necesarias (reequilibrio del uso del espacio urbano, modificación del actual modelo de movilidad, promoción de la autosu-

ficiencia urbana en agua y energía, etc.), en los procesos de los sistemas urbanos hacia la sostenibilidad. También se propuso el seguimiento y la comparación de estos modelos desarrollados, con otros modelos ya existentes.

c) Se enumeraron algunos indicadores de carácter sintético para poder evaluar en cada ciudad cual es el modelo que sigue, es decir, si apunta hacia un modelo de ciudad dispersa, o por lo contrario, hacia el de ciudad compleja y compacta.

Los indicadores propuestos fueron:

- Complejidad urbana
- Compacidad y compacidad corregida
- Eficiencia urbana influencia potencial de un sistema urbano
- Huella ecológica

Se propuso también incluir algunos indicadores de obsolescencia del tejido urbano.

d) Aunque el taller estaba centrado en indicadores de modelo urbano y de huella y calidad ambiental, se planteó la necesidad de incluir otros indicadores de carácter económico y social, que permitan, entre otras cosas, la compatibilidad de las acciones de transformación urbana con la lógica económica. El grupo, no obstante, concluyó en principio, que el desarrollo de un modelo de ciudad compacta y compleja no debía reducir el nivel de competitividad alcanzado por la propia ciudad, apuntándose algunas oportunidades propias de la ciudad mediterránea que la ciudad anglosajona no tiene; por ejemplo, la planificación del subsuelo, que solo tiene sentido en los sistemas urbanos compactos, o la economía de materiales, energía y tiempo que se deriva de la proximidad y las características de la organización de este tipo de ciudades.

e) De las estrategias para competir, se apuntó que aquellas que estén centradas en la información/conocimiento y menos en el consumo de recursos, ofrecen un mejor camino hacia la sostenibilidad de nuestras ciudades. En esta línea se propuso que las calificaciones urbanísticas se modifiquen -con el valor añadido que aportan la información y las nuevas tecnologías- y así se podría pasar de la actual calificación 22a (zona industrial) al 22@, o del 13a (zona de vivienda) a 13@, etc. Estas modificaciones, con la correspondiente introducción de las tecnologías limpias, deberían permitir la compatibilidad y la combinación de usos y funciones urbanos, hoy en día separados.

### 6.3. Cuestiones para futuros debates

Sin ánimo de entrar en demasiado detalle, a continuación se exponen algunas preguntas, cuyas respuestas nos ayudarían a esclarecer parte del camino a seguir para caminar hacia la sostenibilidad.

#### 6.3.1. Cuestiones referentes al modelo de ciudad

¿Se pueden cambiar los estilos de vida en el consumo sin deterioro de la calidad de vida?

¿Tiene freno la actual dispersión urbana? ¿Que instrumentos serían más adecuados para ello?

¿Es el uso masivo de vehículos el factor que mayor número de disfunciones arroja sobre los sistemas urbanos?

¿Cuál es la estrategia para reducir el número de coches circulando?

¿Cómo se compagina la calidad de vida con los modelos de ciudad más sostenible?

#### 6.3.2. Cuestiones de apropiación humana de los recursos naturales: Capacidad de carga e indicadores afines.

¿Las incertidumbres sobre el futuro son tan acusadas como plantean los indicadores de apropiación humana de los recursos?

¿Cuál es la variable que puede actuar como factor limitante para el desarrollo futuro?

¿La globalización de la economía es contraria a los intereses de la sostenibilidad?

¿Los instrumentos legales y organizativos actuales dan cobertura al proceso hacia la sostenibilidad?

- ¿La educación es un instrumento suficiente para cambiar el estado de la cuestión?  
¿ Qué aportaciones se prevén de la fiscalidad ambiental a corto plazo?

#### **6.4. Las oportunidades económicas que ofrece un modelo de ciudad más sostenible**

Muchos se preguntan si las propuestas para hacer más sostenible las ciudades, no son un freno a la economía y al bienestar de la población. Es una cuestión más para el debate.

A continuación se enuncian un conjunto de aspectos urbanos que pueden ser objeto de interés económico compatible con desarrollos urbanos más sostenibles. Se trata de preguntarnos sobre las oportunidades de competir con estrategias basadas en la información y el conocimiento (calidad) o continuar basándolas en el consumo de recursos (cantidad). Una estrategia basada en la información permite repensar la ciudad en otro sentido. No se trata de construir polígonos industriales con calificación urbanística 22a sino áreas mixtas con industria compatible 22@ (según expresión de Ramon García-Bragado). No es cuestión de construir viviendas 7a sino incorporar el valor añadido del 7@, desde el diseño del edificio hasta su deconstrucción. Esta forma de enfocar el sistema urbano puede extenderse a cada m<sup>2</sup> del mismo, a cada objeto (la TV no es importante, lo importante es ver imágenes), a cada servicio (la iluminación, no el kwh; la limpieza y el riego óptimo, no el caudal de agua). Repensar la ciudad en estos términos no es contrario, por ahora, a la lógica económica actual, en todo caso la ennoblece y la aparta de la idea de que para competir todo vale, y de la idea falsa que supone pensar y actuar como si los recursos del Planeta fueran ilimitados.

- a. El subsuelo. En la ciudad compacta se puede construir su imagen “especular”, con gran valor añadido (garajes, almacenes, polideportivos, etc.).
- b. La rehabilitación y el reciclado de suelo urbanizado. Trabajos de artesanía.
- c. La incorporación de tecnología a cada m<sup>2</sup> urbanizado.
- d. Diseño de nuevos edificios.
- e. Diseño del espacio público y de un nuevo paisaje urbano de calidad.
- f. Nuevos modos de transporte.
- g. La incorporación de las actividades productivas a la ciudad.
  - g.1 - Del sector de las TIC.
  - g.2 - Incorporación de producción limpia, más eficiente tecnológicamente, en las nuevas actividades.
- h. Se potencian las actividades del conocimiento. Mezcla de las actividades productivas, con centros tecnológicos de I+D, de investigación y formación.
- i. Se potencia el sector del medio ambiente clásico. Ciclado de los materiales, reutilización. Regeneración del suelo contaminado.
- j. Tecnología para el ahorro del agua, ahorro energético y ahorro de materiales.
- k. Se potencian las actividades turísticas. Patrimonio cultural.
- l. Sector de las ciencias y tecnologías sociales. Procesos de participación y uso de las nuevas tecnologías de la información.
- m. Conservación de los sistemas naturales. I+D para compatibilizar su funcionamiento y su conservación con el desarrollo humano.
- n. Diseño de la desmaterialización, de los nuevos objetos, de los nuevos edificios, de las nuevas industrias, de los nuevos servicios. De la nueva ciudad. Todos con la @ incorporada.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Conrad, M (1983) *Adaptability*. Plenum press
- EUROSTAT (1997) *Indicators of sustainable Development. A pilot study following the methodology of the United Nations Commission on Sustainable Development*. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.
- Fòrum Cívic Barcelona Sostenible. *Indicadors de Sostenibilitat*. (1998)
- Hannon, B (1975). *Energy Conservation and the consumer*. Science 189
- Hayles, N.K (1993) "La evolución del caos. El orden dentro del desorden en las ciencias contemporáneas" (Gedisa Editorial.)
- *Indicateurs d'environnement urbain*. (1978). OCDE. París
- Larrea, Q. y Capella, J. (1996) "¿Cómo serán los objetos del futuro?" (El País, 5 de febrero.)
- Levelt, R. 1998 *Footprint: a great step forward, but tread carefully*, rev. *Local Environment* vol.3 nº 1
- Margalef, R. (1986) "Ecología" (Editorial Omega.)
- Margalef, R. (1991) "Teoría de los sistemas ecológicos". (Entidad Editora Universitat de Barcelona.)
- Margalef, R. (1992) "Ecología" ((Edición revisada). Editorial Planeta.)
- Margalef, R. (1992) "Planeta Azul, Planeta Verde" (Prensa Científica, S.A.)
- Margalef, R. (1995) "La ecología entre la vida real y la física teórica" (Investigación y ciencia. Ed. Prensa Científica.)
- Martínez Alier, J (1998) *La economía ecológica*. Fundación Cesar Manrique
- Max-Neef, M., A. Elizalde y M. Hopenhayn, *Desarrollo a escala humana*, Barcelona, Icaria, 1995.
- Morin, E. (1994) "Introducción al pensamiento complejo" (Gedisa Editorial.)
- Nicolis, G. y Prigogine, I. (1977) "Self-Organisation in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to order through Fluctuations" (New York: Wiley)
- Norgaard, R.B., "Economic Indicators of resource scarcity. A critical essay", *Journal of Environmental Economics and Management*, 19, 1990
- OCDE (1991). *Indicateurs d'Environnement*. Corps Central de l'OCDE. OCDE, París.
- OCDE (1991). *Indicateurs d'Environnement. Une Etude Pilote*. OCDE, París.
- OCDE (1996). *Innovative Policies for Sustainable Development -The Ecological City*.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris, France.
- Odum, H.T. y Odum, E.C. (1980) "Energy basis for man on nature" (Mc Graw Hill inc. New York.)
- Opschoor, J.B., "Ecospace and the fall and rise of throughput intensity", *Ecological Economics*, 15 (2), 1995.
- Passet, R., *L'économique et le vivant*, 2nd ed., Paris, Economica, 1996.
- Pauly, D & V. Christensen (1995). "Primary production required to sustain global fisheries". *Nature* 374
- Pimentel, D. et al., "Food production and the energy crisis", *Science*, 182, 1973.
- Rees, W. (1996). *La huella ecológica: Población y riqueza. Indicadores territoriales desustentabilidad*. *Ecología política* nº 12
- Rueda, J.M. (1995) "Sistema: Conceptualización y Metodología" (Diputació de Barcelona. Servei de Serveis.)
- Rueda, S. (1995) "Ecología Urbana: Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents" Beta Editorial
- Vitousek, Peter, Paul EHRLICH; Anne EHRLICH, y Pamela MATSON; "Human appropriation of the products of photosynthesis", *Bioscience* 1986.
- Wackernagel, M (1996). *La huella ecológica: Población y riqueza. Ciudades sostenibles* *Ecología política* nº 12
- Wackernagel, M y Rees, W. (1996) *Our Ecological Footprint* . *The New Catalyst*, bioregional series. Canada
- Wackernagel, M. 1998 *Footprints: recent steps and possible traps*. rev. *Local Environment* vol.3 nº2.
- Wackernagel, M. 1998. *The Ecological Footprint of Santiago de Chile* *Local Environment* vol.3 nº 1
- Wagensberg (1994) *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Tusquets Editores
- WHO (1997). *Healthy Cities Indicators. Analysis of Data from Cities across Europe*. World health Organisation. Copenhagen, Denmark.



**Salvador Rueda Palenzuela**

*(Lleida, 1953)*

Llicenciat en Ciències Biològiques i en Psicologia, i diplomat en enginyeria ambiental i en enginyeria energètica, es dedicà al món de l'educació de les ciències en un institut fins l'entrada dels ajuntaments democràtics.

Des de l'any 1980, ha dirigit els serveis tècnics de medi ambient dels Ajuntament de Sant Adrià del Besòs i de Barcelona i ha treballat en òrgans del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya.

La seva tasca institucional ha estat adreçada, de manera especial, a la planificació sectorial (Plans de reducció de contaminació atmosfèrica i de contaminació acústica, Mapa Sònic de Barcelona, Programes de Gestió de Residus Especials, i de Residus Municipals de Catalunya, Pla de Sanejament de Catalunya, Programa metropolitana de Gestió de Residus Municipals).

És membre del grup d'experts de medi ambient urbà de la Unió Europea i fou comissari de l'exposició "Ciudades Sostenibles" (1998) que va promoure el Centre de Cultura Contemporània de Barcelona.

Ha publicat una cinquantena d'articles científico-tècnics i de divulgació sobre medi ambient urbà. També és membre del Consell de Redacció de la revista "Medi Ambient, Tecnologia i Cultura", editada pel Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya; de la revista "Debats Tecnològics" editada pel Consell de Col·legis d'Enginyers Tècnics Industrials de Catalunya; i de la revista "Sostenible" editada per la Diputació de Barcelona.

Des de Juny de 2000 és Director de l'Agència Local d'Ecologia Urbana de Barcelona.





**fundació fòrumambiental**

Av. Reina Maria Cristina s/n

Pl. España - Fira de Barcelona - Palau de la Metal.lúrgica

08004 Barcelona

Tel. 93 233 23 70

Fax 93 233 24 96