

COMISIÓN COORDINADORA DEL  
SIMPOSIO NACIONAL DE  
DESARROLLO URBANO Y  
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

SECRETARÍA EJECUTIVA

[www.sndu.org](http://www.sndu.org)

## MODELOS E INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA LA GESTIÓN DEL AGUA, RESIDUOS SÓLIDOS Y EMISIONES A LA ATMÓSFERA



**CARTILLA TÉCNICA**  
**CARTILLA TÉCNICA**  
**003 - SNDU - 2013**

## LA GESTIÓN DEL AGUA: MODELO E INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD

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

La gestión del agua pretende garantizar la oferta de este recurso, asegurando su calidad para los usos previstos; sin embargo al momento de gestionarla no siempre se considera la demanda, ni la preservación de los ecosistemas naturales.

Un modelo de gestión del agua sostenible debe preservar el entorno a la vez que proveer del líquido vital al sistema territorial para su mantenimiento y organización. Esto es factible en la medida que el modelo se desarrolle con la intención de disminuir el aprovechamiento del recurso sobre los ecosistemas, los que también son demandantes de agua y de disminuir asimismo la carga contaminante vertida.

Las oportunidades de reducción del aprovechamiento y la contaminación de este recurso pueden ser:

- a) El ahorro significativo del agua,
- b) La reutilización del agua depurada,
- c) El aprovechamiento del agua de lluvia;
- d) Reducción del impacto contaminante producido por el vertido de agentes físicos, químicos y biológicos en el medio acuático.

### La apropiación humana de los recursos hídricos

La apropiación de un determinado porcentaje de agua debería establecerse teniendo en cuenta las necesidades de los ecosistemas, que al igual que el hombre, necesitan del agua para mantener su organización. La proporción de los tres tercios es una propuesta sostenible, sin perjuicio de que pueda ser corroborada o no de manera particular para cada caso. Un tercio de agua sería utilizada por el hombre para su consumo, un segundo tercio por los

ecosistemas terrestres y un tercer tercio debería estar disponible para los sistemas acuáticos que necesitan de un caudal mínimo para su persistencia.

Cualquier modelo de gestión del agua debe tener en cuenta el mantenimiento de los ecosistemas y también aquellos que por gravedad se conectan como son los ecosistemas marinos.

### El modelo de ordenación urbana y el consumo de agua

El modelo de ciudad dispersa trae consigo consecuencias para el ciclo del agua ya que impermeabiliza una parte significativa de la superficie, lo que unido a la canalización de los cauces, lleva al aumento de la velocidad del agua de lluvia caída en cualquier parte de la superficie hasta el mar, asimismo la impermeabilización de las zonas planas reduce las áreas de infiltración del agua.

Las infraestructuras urbanas, especialmente la red de carreteras son causantes también de distorsiones en el movimiento por gravedad del agua hacia el mar, puesto que desvían los flujos de agua, que sumados al aumento de velocidad anteriormente citado, produce inundaciones cuando el agua caída se produce de forma torrencial.

La construcción masiva de viviendas unifamiliares de tipología aislada en grandes lotes y en urbanizaciones dispersas en el territorio, genera un consumo de agua significativamente mayor.

### Las medidas de ahorro del agua

La protección y conservación de los recursos hídricos obliga a incrementar la eficiencia en su consumo y mejorar su calidad. La eficiencia está sujeta básicamente a dos aspectos: a) La optimización de la demanda de agua doméstica a partir de la aplicación de medidas de ahorro en los hogares; y, b)

La sustitución de una parte de la demanda total del líquido vital por agua no potable procedente del ámbito urbano, esto implica el aprovechamiento de aguas pluviales, residuales, subterráneas y otras posibles fuentes vinculadas al entorno urbano.

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; se puede reducir alrededor del 30% del consumo actual. En todo caso una tendencia deseable para el consumo doméstico es menor a 100 litros por persona y por día.

Asimismo la gestión de las aguas residuales urbanas debe garantizar el retorno del agua al ciclo con unas características de calidad adecuada para evitar posibles impactos sobre los ecosistemas y el medio ambiente y para posibilitar su nuevo uso y consumo en el sistema urbano.

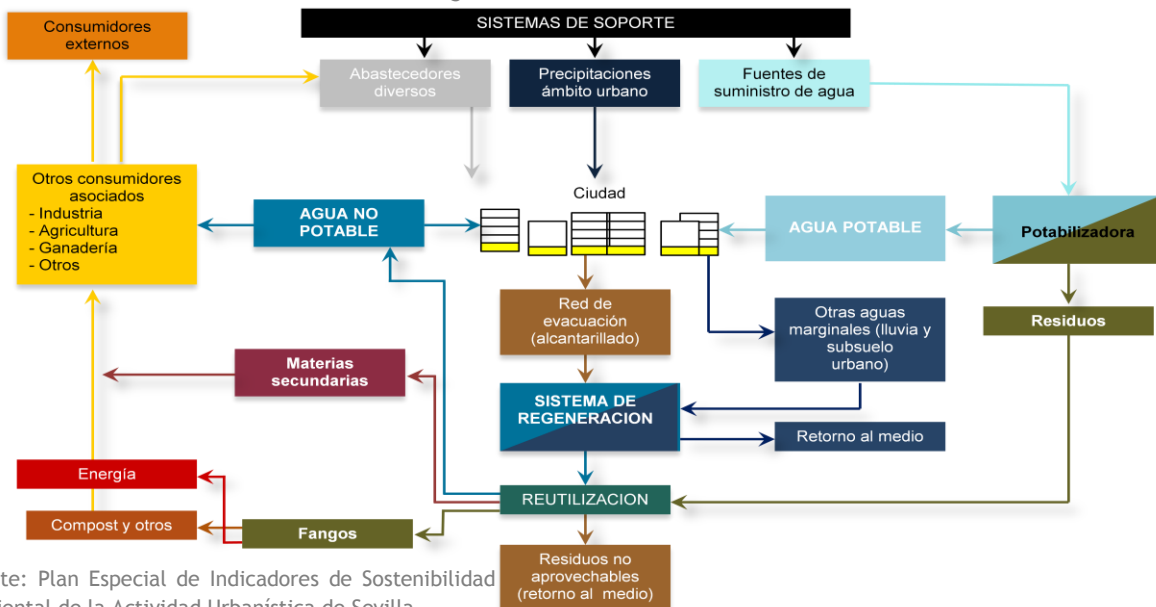
La utilización de las aguas depuradas se entiende como una medida de eficiencia en la gestión del agua ya que permite reducir el grado de explotación de los recursos hídricos y la presión sobre los sistemas de soporte.

De esta manera puede fomentarse el uso de agua de procedencia local o de agua depurada, la cual puede suministrarse en redes separativas para usos de servicios y equipamientos públicos, usos industriales, agrícolas, recarga de acuíferos, actividades de recreación, extinción de incendios, etc. En relación a los indicadores de sostenibilidad a continuación se presentan los siguientes:

- Cantidad de agua total y por segmentos consumida por habitante y por día.
- Volumen de agua residual depurada.
- Grado de utilización de aguas depuradas.

Estos indicadores son básicos, aunque requieren de tratamiento de datos, se puede aplicar a municipios con población menor a 2.000 habitantes y su periodicidad de cálculo es anual. La información necesaria para su procesamiento es el número de habitantes, el consumo de agua y el volumen de agua depurada; datos disponibles en el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC y en la empresa gestora o departamento gestor en la municipalidad de abastecimiento y tratamiento de agua.

Grafico 1: Modelo de sostenibilidad en relación al agua.



Fuente: Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla.

**Cuadro 1:** Indicadores de sostenibilidad en relación al agua.

| INDICADOR  | FORMULA   | UNIDAD                  | DESCRIPCIÓN  | SUBINDICADOR  |
|--|---|-------------------------|--|---|
| Cantidad de agua total consumida por habitante y por día         | $[(\text{agua de la red de abastecimiento}/\text{población total})/365 \text{ días}]$   | Litros/hab/día          | Este indicador mide la cantidad de agua total consumida por habitante y por día en un municipio por los distintos segmentos de consumo (domestico, servicios, industrial, agrícola, etc.), incluyendo pérdidas de la red de distribución | Pérdida de agua en la red de distribución: $[(\text{volumen de agua en la red} - \text{volumen de agua facturada})/\text{volumen de agua distribuida en red}] \times 100$ |
| Cantidad de agua consumida por segmentos por habitante y por día | $[\{(\text{consumo (domestico, publico, comercial, industrial) de agua de la red de abastecimiento facturada anualmente}/\text{población total})/365 \text{ días}\}]$ | Litros/hab/día          | Este indicador mide la cantidad de agua consumida (facturada) por habitante y por día en un municipio por los distintos segmentos de consumo (domestico, servicios, industrial, agrícola, etc.)  |   |
| Volumen de aguas residuales depurada                             | $[(\text{volumen de agua residual tratada}/\text{población})/365 \text{ días}]$   | m <sup>3</sup> /hab/día | El indicador calcula el volumen de aguas residuales procedentes de usos urbanos y que es tratada en una depuradora u otros sistemas de saneamiento como lagunas, o decantación.  | % población conectada a sistemas de saneamiento: $[(\text{población conectada a sistema de saneamiento}/\text{población total})] \times 100$                              |
| Porcentaje de utilización de aguas depuradas                     | $[\text{volumen de agua depurada utilizada}/\text{volumen de agua depurada}] \times 100$  | %                       | El indicador calcula el volumen de aguas residuales procedentes de usos urbanos que es tratada en una estación depuradora de aguas residuales u otros sistemas de saneamiento (laguna, depuradora por decantación, etc.)                 |   |

## MODELO E INDICADORES PARA UNA GESTIÓN DE RESIDUOS SOSTENIBLE

Actualmente la ciudad para mantenerse organizada necesita consumir materiales y energía proveniente de los sistemas de soporte que son explotados para extraer las materias primas, las cuales son transportadas a la red industrial de transformación que a su vez los convertirá en bienes de consumo, que serán utilizados en la ciudad preponderantemente.

Por lo que la generación creciente de residuos de las actividades humanas (vivienda, comercio, servicios, etc.) constituye un gran impacto sobre estos sistemas.

La tasa de producción de residuos y su tipología es por tanto indicativo, no sólo de la presión que la ciudad ejerce sobre el propio territorio, sino de la presión sobre el medio global, ya que en gran medida es reflejo de las pautas de consumo y estilo de vida de los ciudadanos. Una tendencia deseable en la generación de residuos es menor a 1.2 - 1.4kg/hab./día.

El objetivo de una gestión eficiente de los residuos es reducir la producción de estos y fomentar la reutilización y el reciclaje. En este sentido la recogida selectiva significa hacerlo de forma segregada para posibilitar así el reciclaje y la fabricación de nuevos productos y evitar que se destinen a vertederos o incineradoras.

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, o para enriquecer el suelo, cuando son materiales orgánicos estabilizados, los impropios recogidos selectivamente son separados y considerados como residuos para eliminar.

Los flujos destinados al abandono se convierten en residuos, que serán depositados en el vertedero o en las incineradoras cuando se trata de residuos ordinarios, cuando los materiales tienen residuos especiales como por ejemplo pilas, fluorescentes, neveras, etc., son llevados a plantas de tratamiento.

Esto significa un ahorro energético y de materiales en comparación con los requerimientos que tendría la fabricación de productos partiendo de las materias primas originarias.

Por lo dicho anteriormente un modelo de gestión de residuos en el marco de la sostenibilidad debe procurar reducir la explotación de materiales, es decir disminuir la cantidad de materias primas extraídas de los sistemas de soporte y también mermar la presión por impacto contaminante sobre los sistemas de la Tierra. Por lo que se puede pensar en lo siguiente:

- a) Aumentar los flujos de reutilización de materiales.
- b) Incrementar el flujo de residuos orgánicos e inorgánicos recogidos selectivamente y recuperados para ser inyectados en la industria y depositados en el suelo en forma de compost. 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 lleva a que la cantidad de materias primas 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.
- c) Reducir la cantidad de materiales destinados a su abandono y
- d) Disminuir las emisiones y vertidos en las instalaciones de disposición. Para

ello debe aumentarse los niveles de exigencia de los sistemas de depuración de las incineradoras y reducirse la cantidad de materiales de aportación directa al vertedero. De esta forma es ideal que no llegue ningún flujo residual que no haya pasado previamente por una instalación de tratamiento o valorización, es decir, solamente pueden llegar rechazos.

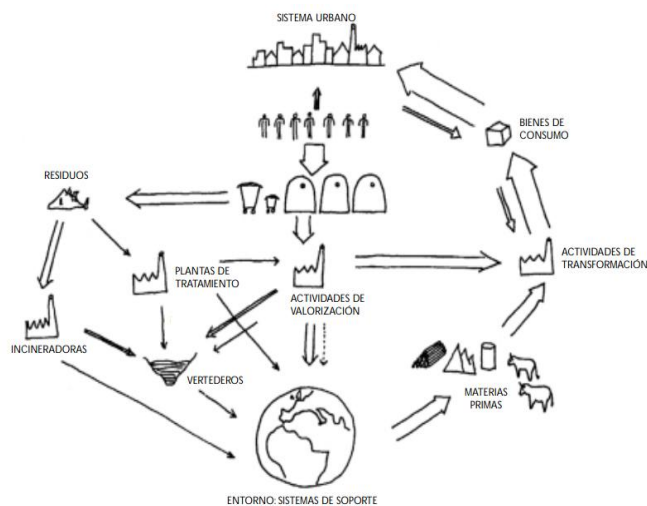
- e) Aprovechar el biogás del vertedero ya que este es uno de los factores que más contribuyen al efecto invernadero.

Las tendencias deseables en función de la recogida selectiva de residuos puede ser la siguiente:

- Materia orgánica: >55%
- Papel y cartón: >75%
- Vidrio: >75%
- Envases: >50%
- Voluminosas: >50%
- Textil: >50%
- Peligrosos: >45%

A continuación se puede observar el modelo sostenible de gestión de residuos.

**Grafico 2:** Indicadores de sostenibilidad en relación los residuos



Fuente: Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla.

En relación a los indicadores de sostenibilidad para la gestión de residuos sólidos se presentan los siguientes:

- Generación total de residuos sólidos urbanos.
- Generación de residuos por habitante y por día.
- Recogida selectiva total y por fracciones.

Estos indicadores son básicos, sin embargo requieren de tratamiento de datos, se pueden aplicar a municipios con población menor a 2.000 habitantes y su periodicidad de cálculo es anual.

La información necesaria para su procesamiento es el número de habitantes y el volumen de residuos sólidos urbanos; datos disponibles en el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC y en la empresa gestora o departamento municipal encargado de la recolección de residuos.

En los municipios donde se preste este servicio de recolección y gestión por mancomunidades se puede realizar una asignación estimada de toneladas por población.

### MODELO E INDICADORES PARA LA GESTIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Las emisiones de CO<sub>2</sub> atribuibles al sector de la energía y el transporte son uno de los principales factores responsables de la generación de gases de efecto invernadero. El sector de la energía y el transporte, junto con el sector de gestión de residuos, debe ser un foco de atención de las autoridades locales. El cambio climático es uno de los mayores retos que la humanidad tiene planteados en el siglo XXI. Es importante establecer medidas de mitigación y adaptación al cambio climático a partir de la proyección de escenarios con mínima o nula emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

**Cuadro 2:** Indicadores de sostenibilidad en a la recolección de residuos.

| INDICADOR  | FORMULA   | UNIDAD     | DESCRIPCIÓN  |
|--|---|------------|--|
| Cantidad total de residuos sólidos urbanos generados                         | [toneladas de residuos generados por año]   | tn/año     | Este indicador mide la cantidad total de residuos sólidos urbanos generados por habitante y por día se expresa en términos absolutos (t/año) y en términos relativos (kg/hab/día)  |
| Cantidad total de residuos sólidos urbanos generados por habitante y por día | [(kg de residuos urbanos generados y retirados por el sistema de recolección/número de habitantes)/365 días]  | Kg/hab/día |  |
| Porcentaje de residuos netos y totales recogidos                             | [(toneladas de fracciones capturadas en los sistemas de recogida selectiva - toneladas impropios en los sistemas de recogida)/toneladas totales de residuos generados por año]      | %          | El indicador determina el porcentaje de captura de los residuos separados en origen por los generadores y aportados a los sistemas de recogida selectiva del municipio, respecto a la generación total y de cada fracción. |
| Porcentaje de residuos recogidos por fracción                                | [(toneladas de la fracciones capturadas en los sistemas de recogida selectiva - toneladas impropios de la fracción)/toneladas totales de residuos generados de la fracción por año] | %          |  |



La emisión de contaminantes a la atmósfera en gran medida depende 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 primeramente del modelo de gestión de energía; cabe indicar que las energías renovables de origen solar (biomasa, fotovoltaica, foto térmica, etc.) suponen una generación entrópica mínima y por tanto emisiones reducidas. Apoyar la organización urbana en energías renovables es básico para disminuir el impacto sobre la atmósfera.

### 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 depende el modelo de movilidad y como se conoce el transporte es el factor que mayor contaminación genera en la mayoría de sistemas urbanos.

Asimismo 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.

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 son contaminantes de la atmósfera.

La contaminación atmosférica constituye un problema medioambiental grave relacionado directamente con la salud. Las distintas directrices existentes sobre calidad del aire recogen los parámetros de calidad que se recomiendan para reducir de modo significativo los riesgos para la salud.

En las ciudades, el actual modelo de movilidad urbana basado en el vehículo privado ha erigido al tráfico rodado, como la principal fuente de emisión de contaminantes. La mejora de la calidad del aire urbano requiere de la implantación de planes de movilidad y espacio público que consigan un cambio en el reparto modal: traspaso modal de los viajes en vehículo privado hacia otros modos menos contaminantes (a pie, bicicleta o transporte público).

En relación a los indicadores de sostenibilidad para la gestión de las emisiones a la atmósfera se presentan los siguientes:

- Volumen de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por habitante.
- Volumen de emisiones por sectores de actividad.
- Número de días por año en los que se registra una mala calidad de aire.

Estos indicadores son básicos, sin embargo requieren de tratamiento de datos, se pueden aplicar a municipios con población menor a 2.000 habitantes y su periodicidad de cálculo es anual.

La información necesaria para su procesamiento es el número de habitantes, volumen de emisión de gases, mediciones de la calidad del aire.

A continuación se muestra en el Cuadro 3, algunos indicadores con relación a las emisiones a la atmósfera.



**Cuadro 3:** Indicadores de sostenibilidad en relación a la contaminación atmosférica

| INDICADOR   | FORMULA  | UNIDAD                    | DESCRIPCIÓN  |
|---|--|---------------------------|--|
| Volumen de emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por habitante                             | [emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes totales]  | tCO <sub>2</sub> /hab/año | Este indicador mide el volumen de emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por habitante y el volumen de emisiones por sectores de actividad: doméstico, servicios, industrial y transporte.<br><br>El punto de partida para calcular el indicador es el análisis de consumo total de energía de las diferentes actividades sectoriales. El factor de equivalencia entre los distintos gases y el CO <sub>2</sub> equivalente es el potencial de calentamiento global.   |
| Volumen de emisiones por sectores de actividad: doméstico, servicios, industrial y transporte | [(tCO <sub>2</sub> equivalente doméstico, servicios, industrial, transporte)/población total/365 días] | tCO <sub>2</sub> /hab/año |  |
| Número de días por año con registro de mala calidad de aire                                   | [número de días con mala calidad del aire]   | días/año                  | Este indicador se define como el número de días por año en los que se registra una mala calidad del aire. Los contaminantes y niveles límite de calidad del aire tomados en consideración son:<br>SO <sub>2</sub> : Número de días que se supera el valor límite: 125 µg/m <sup>3</sup><br>CO: Número de días que se supera el valor límite: 10 mg/m <sup>3</sup><br>NO <sub>x</sub> : Número de días que se supera el valor límite: 50 µg/m <sup>3</sup><br>O <sub>3</sub> : Número de días que se supera el valor límite: 120 µg/m <sup>3</sup><br>PM <sub>10</sub> : Número de días que se supera el valor límite: 50 µg/m <sup>3</sup> |

## BIBLIOGRAFIA

Sistema Municipal de Indicadores de Sostenibilidad, IV Reunión del Grupo de trabajo de Indicadores de Sostenibilidad de la Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible, España, 2010

Rueda Salvador, Modelos e Indicadores para ciudades más sostenibles, Fórum Ambiental, España, 1999

Quiroga Rayén, Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas, Chile, 2001.