

# ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES

## UNA HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO REGIONAL SOSTENIBLE

Por: **Jaime Díaz Gómez**

*Fundación Universitaria de Boyaca / UNIBOYACA*

**Claudia Binder Pucho**

*Instituto Federal Suizo de Ciencias del Ambiente y Tecnología / EAWAG*



En las regiones urbanas de los países en vía de desarrollo los problemas relacionados con la disminución de los recursos y la contaminación ambiental se han acelerado en las últimas décadas.

Mientras los países industrializados han abordado estos problemas en un amplio periodo de tiempo, los países menos desarrollados los enfrentan en forma simultánea y en un lapso más corto. Se ha planteado que es necesario desarrollar herramientas que puedan ser empleadas para llevar a cabo planeación a largo plazo con el fin de conocer la demanda actual y futura de recursos así como los impactos ambientales asociados con las actividades humanas.

En los países industrializados el Análisis de Flujo de Materiales (AFM) ha sido un instrumento adecuado para la identificación de problemas ambientales, el análisis y la solución de esos problemas. La aplicación de esta herramienta en la Ciudad de Tunja es el objetivo de un proyecto de investigación desarrollado en el marco de un convenio de cooperación suscrito entre el Centro de Investigaciones para el Desarrollo (CIPADE) de la UNIBOYACA y el Instituto Federal Suizo de Ciencias del Ambiente y Tecnología (EAWAG).

## ¿QUE ES EL AFM?

El AFM es un balance de materiales aplicado, en este caso, a una región urbana con el fin de estudiar su crecimiento y desarrollo. Con esta evaluación se pueden observar las relaciones entre:

- (1) El medio ambiente como fuente de recursos y destino final de los residuos generados
- (2) Las actividades humanas, y
- (3) Los flujos de materiales, actuales y futuros, destinados para llevar a cabo esas actividades.

Tradicionalmente la protección ambiental ha sido fundamentada en la implementación de medidas técnicas para la depuración de los residuos generados por la actividad del hombre en la antropósfera (el lugar en el que el hombre lleva a cabo actividades como alimentarse, residir y transportarse). Esta forma de actuar tiene importante efectos de carácter inmediato, pero es necesario desarrollar herramientas que posibiliten la identificación temprana de los problemas ambientales y una mejor comprensión de las consecuencias técnicas y económicas ocasionadas por las diferentes estrategias de protección que se puedan implementar.

Aunque la metodología del AFM ha sido aplicada por países desarrollados en programas de manejo regional sostenible, se ha demostrado que también puede ser empleada en regiones de países en vía de desarrollo en los que, generalmente, la información necesaria (cantidad y calidad de los residuos generados y estudios de mercadeo) para efectuar el balance de materiales es escasa y/o dispersa, (Binder et al (1997;1995)).

## FLUJO DE MATERIALES Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

El incremento en el crecimiento de la población en los últimos siglos ha acelerado el flujo de los materiales necesarios para llevar a cabo las diferentes actividades del hombre en la antropósfera. Como se puede observar en la Figura 1, el flujo total de bienes desde el periodo neolítico hasta la sociedad urbana altamente estructurada se ha incrementado en un orden de magnitud entre uno y dos. En la actualidad, en áreas densamente pobladas, los flujos antropogénicos sobrepasan considerablemente los flujos naturales de materiales, (Brunner et al (1994)).

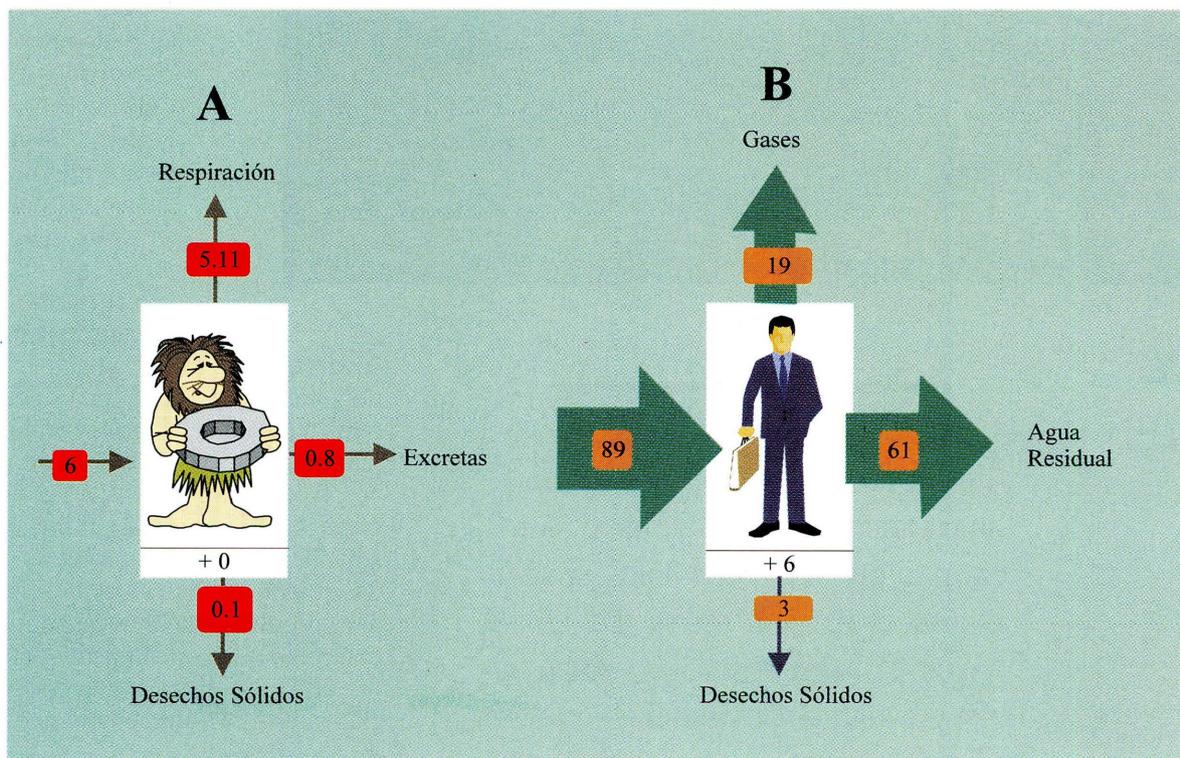


FIGURA 1. CONSUMO TOTAL DE MATERIALES DESDE EL PERIODO NEOLÍTICO HASTA EL HOMBRE MODERNO (TON/PER./AÑO). Fuente: Brunner et al (1994)



Fotografías: Mauricio Osorio

---

SI EL PRINCIPAL OBJETIVO DE LA PROTECCIÓN AMBIENTAL Y LA GESTIÓN SOBRE LOS RESIDUOS ES CONSERVAR LA CALIDAD DEL MEDIO AMBIENTE, SE DEBE REDUCIR EL FLUJO DE MATERIALES EN LA INTERFASE ANTROPÓSFERA/AMBIENTE A NIVELES SOSTENIBLES.

---

El incremento en estos flujos ocasiona un problema cuantitativo ya que cada vez se requiere reciclar o disponer una mayor cantidad de residuos, lo que ocasiona que se deban destinar para tal fin, una gran cantidad de recursos naturales y financieros. Adicionalmente, esta situación crea un problema de orden cualitativo, ya que se presenta un incremento en el consumo de materiales que contienen metales pesados y compuestos orgánicos, lo que produce un aumento en el almacenamiento de materiales potencialmente peligrosos en la antropósfera y el incremento de los flujos que deterioran el medio ambiente.

Lo anterior nos lleva a la conclusión de que si el principal objetivo de la protección ambiental y la gestión sobre los residuos es conservar la calidad del medio ambiente, se debe reducir el flujo de materiales en la interfase antropósfera/ambiente a niveles sostenibles. Con respecto a esto caben las siguientes inquietudes: ¿qué son niveles sostenibles y cómo los podemos alcanzar eficientemente? Brunner et al (1994), sugieren que puede existir sostenibilidad si los flujos antropogénicos no cambian las concentraciones, los flujos y los reservorios geogénicos. Desde este punto de vista, la forma tradicional de manejar la disposición de los flujos antropogénicos en el ambiente (vr.gr. tratamiento de aguas residuales, control de la polución atmosférica, etc) debe combinarse con su reducción a niveles que permitan mantener los sistemas naturales en los niveles de los flujos biogeogénicos. Ahora, ya que es necesario reducir los flujos antropogénicos, controlar el metabolismo de la región, a niveles sostenibles, hay que pensar en que la entrada, el almacenamiento y la salida de materiales a la antropósfera están interrelacionados y no pueden ser controlados separadamente. Para identificar los puntos de la región en los que se deben controlar esos flujos, el AFM ofrece la base que sirve para la toma de decisiones.

**DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA**

El empleo del AFM tiene como base la evaluación de la entrada, salida y el flujo interno de energía y materiales en la antropósfera. La metodología involucra el concepto que la antropósfera se comporta como un organismo biológico y cultural que requiere de fuentes externas de energía y recursos para llevar a cabo su metabolismo. El principal objetivo del metabolismo de la antropósfera es abastecer el proceso de economía doméstica con energía, bienes e información.

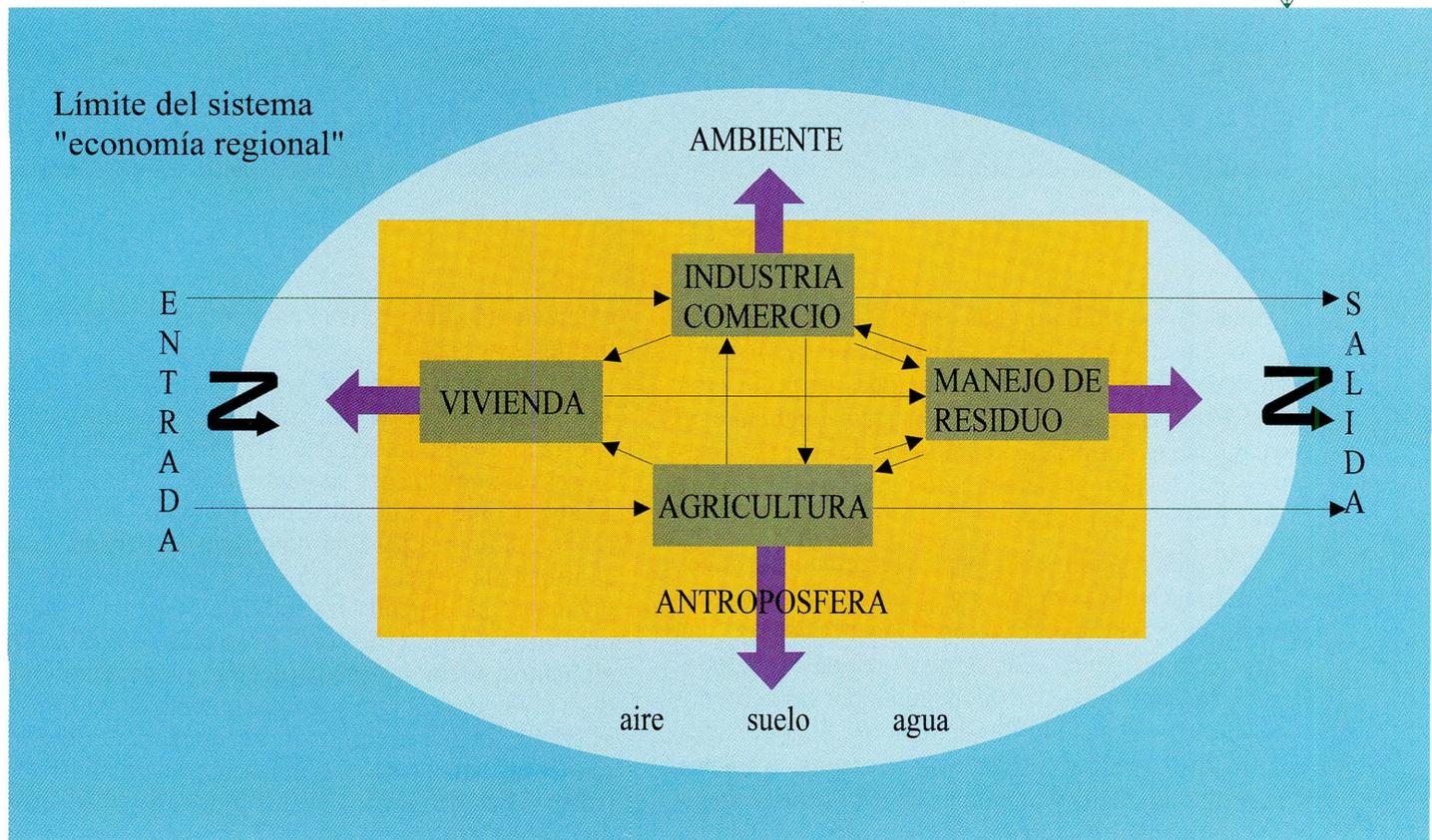
La antropósfera y el ambiente forman un sistema geográfico abierto llamado «economía regional». El subsistema ambiente esta definido por los compartimientos suelo, agua y aire. El subsistema antroposférico tiene cuatro compartimientos, procesos, a saber: Agricultura; Industria y Comercio; Economía Doméstica y Manejo de Residuos, Figura 2

En la figura, las flechas delgadas indican los flujos de materiales influenciados por el mercado y las



Fotografía: Mauricio Osorio

FIGURA 2. ESQUEMA DE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES ENTRE LA ANTROPÓSFERA Y EL MEDIO AMBIENTE EN UNA ECONOMÍA REGIONAL. FUENTE: BACCINI Y BRUNNER (1991)





Fotografía: Mauricio Osorio

flechas curvas simbolizan los flujos naturales o geogénicos. Las flechas anchas representan las emisiones que pueden ser limitadas por medidas de protección ambiental. De esta forma, el subsistema ambiente no solamente es empleado como fuente de energía y materia por la antropósfera sino también como destino final de los residuos.

En cada economía regional interactúan dos redes de flujo de materiales y energía: la «geogénica» o natural que es llevada a cabo por la energía solar y las interacciones de los ecosistemas regionales y globales; y la «antropogénica» conducida por las actividades biológicas y culturales del hombre. Los subsistemas antropósfera y ambiente adquieren pasivamente energía solar, agua y minerales de los flujos geogénicos regionales y globales. La antropósfera adicio-

nalmente adquiere activamente energía y materia de fuentes externas.

La antropósfera puede ser vista como un sistema abierto consistente de procesos conectados con bienes «portadores» de materiales. Una red de procesos y bienes es motivada por las «actividades» que se lleven a cabo al interior de ellos. Por ejemplo; el proceso economía doméstica esta representado por una gran cantidad de procesos que se llevan a cabo en la vivienda con relación a las actividades «respirar, «alimentarse» (ej. comprar, preparar y consumir alimentos) «residir» (construcción y mantenimiento de la vivienda, compra y mantenimiento de muebles), «lavar» (ropa, elementos de cocina, unidades sanitarias, baño, carros, limpieza), y «comunicarse». Además hay que involucrar los procesos y los bienes que sirven exclusivamente a la economía doméstica

## RESULTADOS

Los resultados del proyecto realizado en la Ciudad de Tunja demuestran que es posible desarrollar un modelo de flujo de materiales para agua, alimentos y bienes duraderos aún con limitaciones cuantitativas y cualitativas de la información. Con el modelo desarrollado se puede planear la estrategia de monitoreo necesaria para la identificación de la demanda actual y futura de recursos y los impactos ambientales debidos a cambios en el metabolismo de la región. Adicionalmente se puede evaluar en que extensión las medidas destinadas al tratamiento y disposición final de residuos pueden mitigar los efectos ambientales ocasionados por las actividades del hombre en la zona urbana del Municipio de Tunja.

## CONCLUSIONES

El AFM puede ser empleado como una herramienta de gestión ambiental ya que permite el análisis integral de los problemas ambientales generados por la actividad del hombre en la antropósfera. En este sentido se cambia el análisis tradicional de la problemática pues este no se reduce solamente a la búsqueda de tecnologías para la depuración de los residuos sino que se observan las características de los flujos de materiales y su relación con los problemas ambientales de la región. La metodología puede ser empleada como herramienta para la puesta en práctica, a nivel regional del concepto desarrollo sostenible ya que nos permite identificar las medidas más efectivas para el control del flujo de materiales.

La estrategia de limitar la entrada y la salida del flujo de materiales en la interfase antropósfera/ambiente y el flujo interno en la región sirve para reemplazar la presente práctica de orientar la protección ambiental hacia la depuración de los residuos generados. Esta forma de enfrentar los problemas ambientales está alcanzando su límite pues como se ha demostrado, WHO (1989), cuando se aborda un problema de polución tratando los residuos, surgen nuevos y más diversos problemas ambientales asociados con la presencia de otros agentes en los desechos.

pero que se llevan a cabo fuera de ella, tales como el uso de vehículos a motor para compras o el uso de la red de drenaje para la recolección de los residuos líquidos generados por la economía doméstica.

La forma en que se puede emprender un programa para evaluar y controlar el metabolismo de una región involucra en primera instancia la realización del AFM con el fin de identificar y cuantificar las entradas y salidas, así como los flujos internos de bienes y materiales en la antropósfera y el medio ambiente estudiados. Esta primera fase es vital para identificar los problemas ambientales generados por el metabolismo de la región, predecir la magnitud de los residuos, su impacto sobre el ambiente y el efecto de los cambios y/o control de los flujos antropogénicos.&



## BIBLIOGRAFÍA

- BACCINI. P., BRUNNER. P (1991). **Metabolism of the Anthroposphere**, Heidelberg and New York: Springer- Verlag
- BINDER. C., SCHERTENLEIB. R., DIAZ. J., BADER. H. P., AND BACCINI. P. (1997) Regional Water Balance as a Tool for Water Management in Developing Countries. **Water Resources Development**. Vol. 13 No. 1.
- BINDER. C., SCHERTENLEIB. R., DIAZ. J., BACCINI. P. (1995). "The Early Recognition of Environmental Impacts Exemplified with Water Resource Management". In: **Sustainability of Water and Sanitation Systems**, WEDC Conference Uganda.
- BRUNNER. P., DAXBECK. H., BACCINI. P. (1994). "Industrial Metabolism at the Regional and Local Level: A Case Study on a Swiss Region". In: **Industrial Metabolism, Restructuring for Sustainable Development**, Ed. by Robert, U. Ayres and Udo E. Simonis. 163-193. Tokyo. United Nation University Press.
- WHO (1989). **Global Environmental Monitoring System, Global Freshwater Quality**, Basil Blackwell, Inc. pag. 293ff.