



Centre de Cooperació per  
al Desenvolupament. CCD

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



- 1.
- 2.
- 3.

## **Sistema de Investigación Benito Juárez (SIBEJ)-Universidad Autónoma de Chiapas (UnaCh)**

### **Análisis de Flujo de Materiales para apoyar la toma de decisiones en el aspecto ambiental en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas**

José Edgar Villalobos Enciso  
Patricia Elke Rodríguez Schaeffer  
Docentes-investigadores de la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Autónoma de Chiapas (UnACh)  
Blvd. Belisario Domínguez km 1081, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

#### **Introducción**

El estado de Chiapas se encuentra inmerso en un proceso continuo y permanente de degradación del ambiente y pérdida de recursos naturales en aras de un desarrollo indiscutiblemente necesario pero mal orientado y planificado, debido entre otras causas por el seguimiento, como norma, de patrones utilizados en países más desarrollados. La forma de aprovechamiento de los recursos naturales en Chiapas muestra un desconocimiento de los principios ecológicos fundamentales; en las últimas décadas se ha dado una aceleración al proceso de urbanización e industrialización que ha alterado el ambiente a un ritmo tal que se requiere urgentemente la intervención consciente de autoridades, sociedad civil y de todos aquellos interesados en cuestiones ambientales, para controlar el desarrollo creciente y explosivo que hace prosperar a la sociedad en alguna forma, pero que está convirtiendo a una población que vivía en un ambiente inminentemente rural en otra que vive en ciudades generadoras de un ecosistema reducido, con la decadencia del nivel de vida como consecuencia.

Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, se distinguió en las décadas de los 70's y 80's como una de las ciudades de mayor y más rápido crecimiento en la república mexicana, lo que aunado a la situación económica y tecnológica que vivió el país en ese periodo, llevó a que la infraestructura y servicios municipales no pudieran incrementarse con la misma tasa de crecimiento de la población, provocándose que actualmente se sufra de desabasto, insuficiencia de servicios básicos, deforestación y escasez de áreas verdes o recreativas, además de una constante, creciente e incontrolada contaminación de suelo, agua y aire.

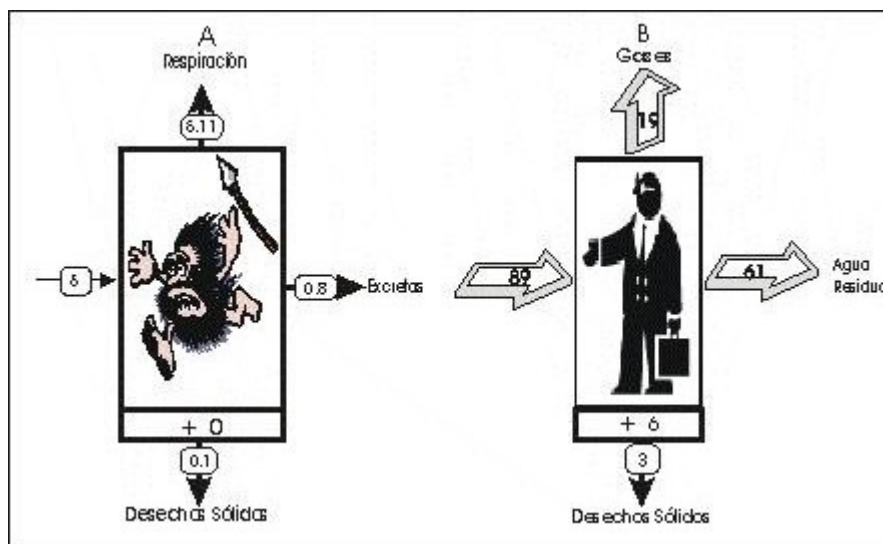
Por lo que se consideró apremiante buscar herramientas y medios de uso de la información que gestionen la toma de conciencia colectiva que conlleve a un enfoque de desarrollo sustentable de la ciudad y promueva el mejoramiento en la calidad de vida de sus habitantes, racionalizando, preservando e integrando el medio natural y artificial en un proceso adecuado de planificación física y de diseño. Una de estas herramientas, utilizada ya desde hace tiempo en países industrializados es el Análisis de Flujo de Materiales (AFM) que ha sido empleado como un instrumento adecuado para la identificación de problemas ambientales, el análisis y solución de los mismos en zonas urbanas. Sin embargo, este método no había sido evaluado en una región de un país en vías de desarrollo, hasta que a finales de 1995, Binder et al consiguieron aplicarlo exitosamente en la ciudad de Tunja, Colombia (aproximadamente 114,000 hab.), demostrando su factibilidad de uso como herramienta de planeación a largo plazo a pesar de la escasa información disponible para su aplicación en esta pequeña ciudad colombiana

El empleo del AFM tiene como base la evaluación de la entrada, salida y 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, cuyo principal

objetivo es abastecer el proceso de economía doméstica con energía, bienes e información, lo que conlleva a otros procesos. Las relaciones entre estos procesos provocan flujos que están influenciados por el mercado; asimismo generan entradas de materiales provenientes del medio ambiente y salidas o depósitos a este mismo, mismas que pueden conceptualizarse como flujos naturales o geogénicos, mientras que producen emisiones hacia el ambiente y la antropósfera (aire, suelo y agua), que son las que podrían estar sujetas o limitadas por medidas de protección ambiental. De esta manera, el ambiente no solamente es empleado como fuente de energía y materia por la antropósfera sino también como destino final de los residuos.

En este contexto, los procesos que se llevan a cabo al interior de la antropósfera deben ser más y mejor conocidos, ya que solo así se podrá tener una percepción temprana de los problemas ambientales que se generan por estas actividades, como resultado de este conocimiento incrementado se podrán tomar decisiones para la solución de los problemas ambientales generados por la actividad del hombre en su antropósfera, con una visión de largo plazo, en la que se considera a la planificación como elemento vital para el desarrollo sostenible de la región, además la aplicación de la herramienta de AFM para el manejo integrado de los recursos y residuos de la región urbana, ya que permite la definición de prioridades por medio de la identificación temprana de su cantidad, calidad, efecto sobre el ambiente, que sirven como base para el diseño y evaluación de las tecnologías para su tratamiento y disposición final, así como el análisis que posibilitará la minimización del flujo de residuos al ambiente Brunner et al(1992). Además de acuerdo al crecimiento del sistema urbano, se pueden identificar los requerimientos de bienes y servicios que requerirá la comunidad en el futuro, considerando que deberá haber compatibilidad entre el crecimiento urbano con los recursos y capacidad de soporte del entorno ambiental.

De acuerdo a Brunner et al (1994) 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, en la figura 1 se puede observar como el flujo total de bienes desde el periodo neolítico hasta la sociedad urbana altamente estructurada se ha incrementado en un orden de magnitud de entre uno y dos, en la actualidad en áreas densamente pobladas los flujos antropogénicos sobrepasa considerablemente los flujos naturales de materiales.



**Fig. 1. Consumo total de materiales desde el periodo neolítico hasta el hombre moderno (en ton/habitante/año). Fuente Brunner et al (1994).**

El incremento en los flujos descritos anteriormente 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 diversas sustancias entre las cuales sobresalen los metales pesados y compuestos orgánicos, lo que produce un aumento en el almacenamiento de

materiales potencial mente peligrosos en la antropósfera y el incremento de los flujos que deterioran el medio ambiente.

Todo lo anterior permite concluir que si se pretende conservar la calidad del medio ambiente a través de la protección ambiental y la gestión adecuada de los recursos y residuos se deben reducir los flujos de materiales en la interfase antropósfera-ambiente a niveles que sean sostenibles. En esta concepción caben plantearse las siguientes preguntas: ¿qué son niveles sostenibles de consumo? Y ¿cómo se pueden alcanzar eficientemente?. A este respecto Brunner et al. (1994) sugieren que existirá sostenibilidad si los flujos antropogénicos no cambian las concentraciones, los flujos y los reservorios geogénicos (producidos naturalmente en la superficie terrestre). Desde esta perspectiva, la forma tradicional de manejar la disposición de los flujos antropogénicos en el ambiente (p. e. Tratamiento de aguas residuales, control de contaminación atmosférica, entre otros) debe cambiar hacia su reducción a niveles que permitan mantener el estado estacionario de los sistemas naturales en los niveles de los flujos biogeogénicos.

Por lo tanto, como es necesario reducir los flujos antropogénicos y controlar el metabolismo de la región a niveles sostenibles se requiere considerar que las entradas, almacenamiento y salida de materiales a la antropósfera están intrínsecamente interrelacionados y no deben ser controlados separadamente. Para identificar los puntos de la región urbana en los que se deben evaluar o controlar los flujos, el AFM ofrece una buena base que sirve para la toma de decisiones.


### **Metodología utilizada**

Para llevar a cabo una primera aproximación de aplicación del método de AFM es necesario comprender la terminología utilizada, de acuerdo con sus innovadores Baccini y Brunner (1991), la cual incluye las siguientes definiciones:


*Actividad.* Acciones hechas por el humano que definen el flujo de materiales a través de la antropósfera. Básicamente se distinguen cuatro actividades, que se consideran suficientes para describir los flujos de materiales más importantes en una zona bajo estudio, que son las siguientes:

- Alimentar. Que incluye todos los procesos y bienes que producen alimentos sólidos y líquidos para el hombre.
- Lavar. Involucra los procesos y bienes empleados para mantener la salud de las personas y suministrar protección ambiental.
- Residir y trabajar. Hace referencia a los procesos y bienes que sirven para construir y mantener las viviendas, así como los sitios de trabajo y recreación.
- Transportar y comunicar. Tiene que ver con todos los procesos y bienes empleados para transportar personas y materiales, así como, para intercambiar información.

*Antropósfera.* Es el sistema abierto en el que el género humano lleva a cabo sus actividades e interactúan con su entorno ambiental. En este sistema los principales procesos son la agricultura, economía doméstica, industria, comercio y el manejo de residuos. Estos se relacionan con los sectores ambientales aire, suelo y agua, importando energía y materia prima al mismo tiempo que exportan residuos (ver fig. 3 en la pag. 7).

*Bien* (  ) Consiste de un material o mezcla de materiales y tiene una función y valor definidos.

*Material.* Es un elemento químico o su compuesto. Los flujos de materiales son expresados en masa por unidad de tiempo área. El "área" puede ser una región, una vivienda o una persona.

*Proceso* (  ) Está definido como transporte, transformación o almacenamiento de bienes, materiales, energía e información. Matemáticamente puede ser interpretado como un balance de volumen, lo que hace referencia a una unidad de volumen alcanceada.

*Coficiente de transferencia.* El coeficiente de transferencia  $k_{iB}$  es la fracción de la entrada total en un proceso de un elemento  $i$  (en el ejemplo de la fig. 2, la entrada de  $i$  es originada por la entrada del bien A) que es transferido en el bien B. En tanto  $k_{iB} + k_{iC} + k_{iD} = 1$ , ver figura 2.

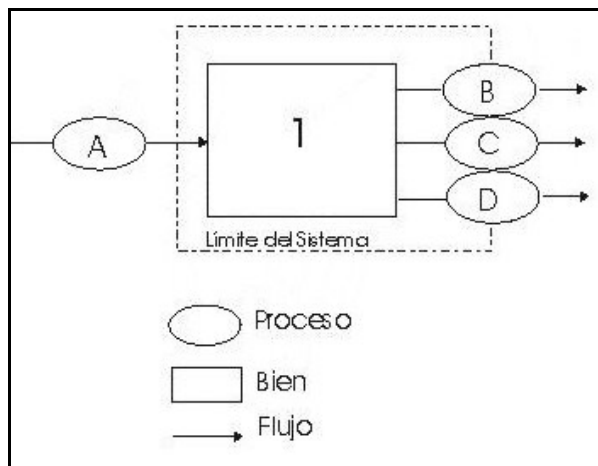


Fig. 2. Ejemplo de los componentes de un sistema. Fuente Díaz et al (1996).

### Generalidades sobre la metodología de AFM

El empleo del AFM tiene como fundamento la evaluación de la entrada, salida y el flujo interno de energía y materiales en la antropósfera. La metodología involucra el concepto de 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 la economía doméstica con energía, bienes e información. En este enfoque, se considera que la tecnología empleada para tratar los residuos no los elimina completamente ya que esto violaría las leyes de conservación de la masa y la energía, y que los productos generados pueden ocasionar efectos adversos sobre el medio ambiente en el que se disponen.

La antropósfera y el ambiente forman un sistema geográfico abierto llamado "economía regional". El subsistema ambiente está definido por los sectores suelo, agua y aire. El subsistema antroposférico tiene cuatro particiones o procesos, a saber: agricultura; industria y comercio; economía doméstica y manejo de residuos (ver figura 3). Las flechas delgadas indican los flujos de materiales influenciados por el mercado y las 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 si no también como destino final de los residuos.

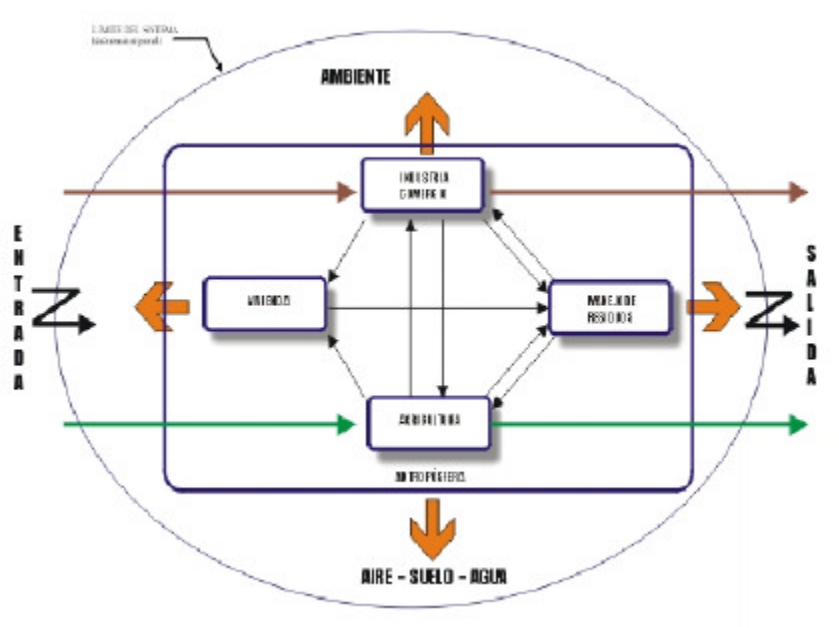


Fig. 3. Esquema de las interacciones fundamentales entre la antropósfera y el ambiente en una economía regional. Fuente Baccini y Brunner (1994).

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: la fase economía doméstica está representada por una gran cantidad de procesos que se llevan a cabo en la vivienda con relación a las actividades: “respirar”; “alimentarse” (comprar, preparar y consumir alimentos); “residir” (construcción y mantenimiento de la vivienda, compra y mantenimiento de muebles, entre otros) “lavar” (ropa, enseres de cocina, baños, automóviles, limpieza doméstica, entre otros) y “comunicarse”. Además hay que involucrar los procesos y los bienes que sirven exclusivamente a la economía doméstica pero que se llevan a cabo fuera de ella, tales como, el uso de vehículos de motor para compras o el uso de la red de drenaje para la recolección de los residuos líquidos generados por la economía doméstica. En áreas urbanas la economía doméstica es el proceso más importante para el AFM, por esta razón el manejo de los residuos al interior de las viviendas es uno de los aspectos más importantes para el manejo regional de los materiales y residuos.

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 evaluar las entradas y salidas, así como los flujos internos de bienes y materiales en la antropósfera y el 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, el efecto de las medidas para minimizar y/o tratar los residuos producidos y el efecto del control de los flujos antropogénicos al interior del sistema estudiado.

El AFM puede ser empleado como 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 contexto, se cambia el análisis tradicional de la problemática pues este no se reduce solamente a la búsqueda de tecnologías para la depuración tratamiento de los residuos sino que se pueden observar las características de los flujos de materiales en la entrada y salida, así como su interacción con los diferentes procesos que se llevan a cabo en la región. El AFM sirve pues, como elemento de análisis para la puesta en práctica, a nivel regional del concepto de desarrollo sostenible ya que permite identificar las medidas más efectivas para el control del flujo de materiales en la zona en estudio.

Así pues, esta herramienta de planificación puede servir para abordar, en forma general, las siguientes preguntas:

- a) ¿Cuáles bienes que contienen recursos y elementos ambientalmente relevantes son eventualmente transferidos en los diferentes residuos generados por la antropósfera hacia el ambiente? y ¿cómo pueden ser ellos retornados al sistema?
- b) ¿Cómo cambian los procesos metabólicos que se llevan a cabo en la antropósfera en función del tiempo? y ¿cuáles son las variables que tienen una influencia fundamental sobre ellos?
- c) ¿Se pueden identificar los impactos de medidas de tipo legal (leyes, normas y reglamentos, soluciones técnicas y económicas a problemas ambientales en el sistema estudiado?
- d) ¿Se pueden predecir problemas asociados con el abastecimiento de bienes en una región? y adicionalmente; ¿se pueden identificar las medidas que sirvan para hacer más eficiente el uso de los recursos necesarios para su metabolismo?

### **Secuencia de actividades para la aplicación del AFM**

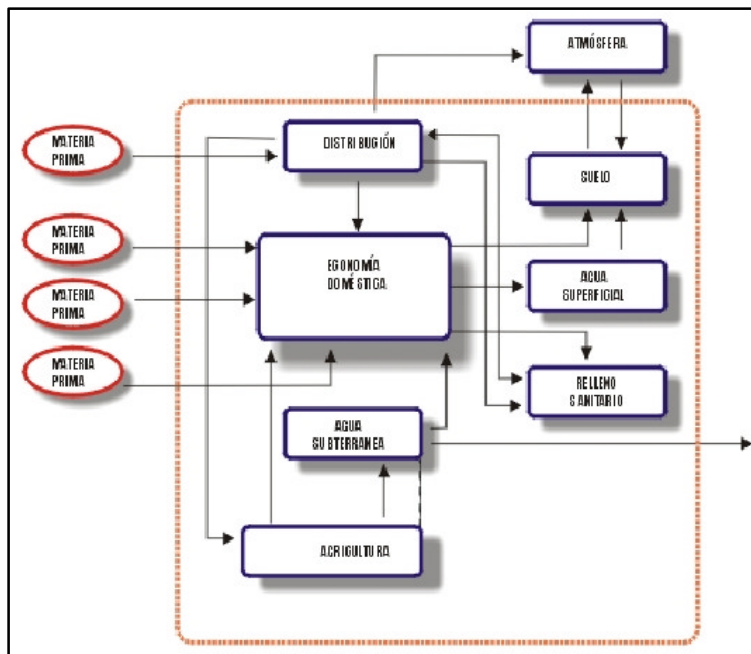
Para proceder a la aplicación de la metodología de Análisis de Flujo de Materiales en el caso de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se están desarrollando las siguientes actividades:

1. *Análisis del sistema.* Comprende la delimitación del sistema, los procesos, la determinación de lugares para evaluar entradas y salidas del sistema y la selección de los elementos indicadores. En esta etapa se definen los bienes y procesos que se incluirán en el estudio por lo tanto es diferente en cada problema analizado. Los parámetros o elementos elegidos deben ser indicadores de la actividad o problemática que está siendo estudiada.
2. *Cálculo de los flujos de masa.* Se determinan las cantidades de entradas y salidas del sistema por unidad de tiempo para períodos de tiempo seleccionados de acuerdo a la disponibilidad de información (masa por tiempo o masa por unidad de producto, p. e. para agua o gases: volumen, m<sup>3</sup>/día o litros/ton de alimento).

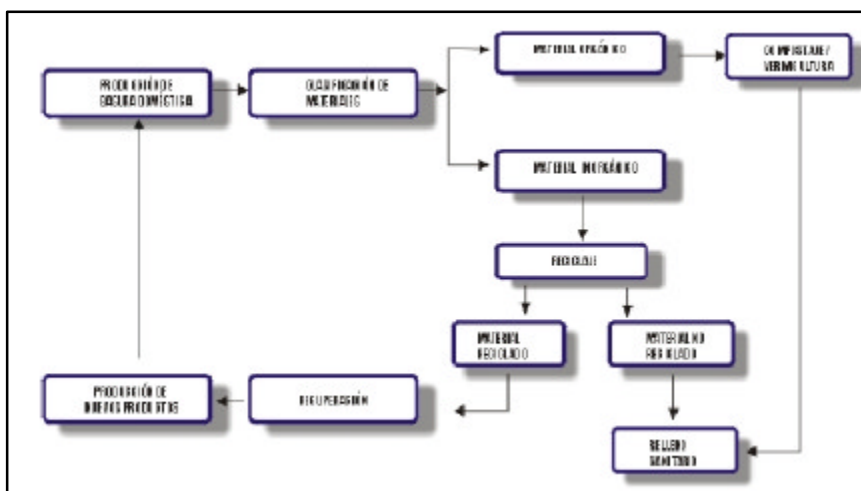
3. *Determinación de concentraciones.* De los elementos seleccionados en las entradas y salidas se determina la concentración para los diferentes periodos de tiempo seleccionados (masa/masa o masa/volumen).
4. *Cálculo de los flujos elementales de masa.* A partir del flujo de bienes de la actividad 2 y las mediciones de concentración de los elementos de la actividad 3 se desarrolla el modelo de AFM que establece la relación entre productos y procesos.
5. *Identificación de flujos a controlar.* Mediante la presentación e interpretación de los resultados de la aplicación del modelo de AFM se determinan de forma prioridad descendente los flujos que deben ser controlados para evitar impactos negativos mayores al ambiente.
6. *Determinación de demanda actual y futura.* Con el modelo obtenido, se realizan las cuantificaciones de demanda actual y se hacen las proyecciones para estimar las demandas futuras de recursos naturales necesarios para el desarrollo sustentable de la zona urbana y los posibles impactos ambientales debidos a cambios en el metabolismo de esta región.

### **Metas y objetivos alcanzados**

Un objetivo es desarrollar un modelo de flujo de materiales para agua, alimentos y bienes duraderos para la zona urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En este aspecto, se tiene completamente conceptualizado el modelo de flujo de materiales para agua, alimentos y bienes duraderos para la zona urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (ver ejemplos en figuras 4 y 5), así como los instrumentos de medición, se requiere efectuar la aplicación de estos instrumentos e introducir los datos al modelo para llevar a cabo la evaluación y con ello estar en condiciones de identificar los puntos de verificación y control de los flujos internos de energía y materiales que tiene un avance del 60%.



**Fig. 4. Análisis de Flujos de Materiales para una economía doméstica.**



**Fig. 5. Propuesta de un sistema integral tratamiento de residuos sólidos para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**

Minimizar los impactos ambientales negativos ocasionados por las actividades de la población de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas se estimó como objetivo del proyecto, al respecto, se han identificado algunas acciones que pudieran ser adoptadas para la minimización de los impactos ambientales negativos de las medidas destinadas al tratamiento y disposición final de los residuos sólidos y líquidos, las cuales podrán ser evaluadas cuando se tenga validado el modelo de flujo de materiales.

Finalmente, el identificar la demanda actual y futura de materiales y recursos necesarios para el desarrollo sustentable de la zona urbana y los posibles impactos ambientales debidos a cambios en el metabolismo de la región urbana, fue el cuarto objetivo propuesto en el proyecto, el cual al igual que en el caso del objetivo anterior, para poder dar cumplimiento a esta meta se necesita del modelo validado de flujo de materiales, por lo que su consecución esta supeditada al logro de este.

### **Beneficio potencial del proyecto**

Se pretende que al aprovechar adecuadamente los resultados de esta investigación, se genere una adecuada gestión ambiental de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, que de resultar pertinente se pueda permear posteriormente a otros centros de población que deberán de ser desarrollados en paralelo con las ciudades medianas, a fin de evitar las grandes concentraciones de población que superan la capacidad de soporte de los sistemas y que por ende aceleran el deterioro ambiental de su entorno. Es decir, se pretende propiciar el análisis integral de los problemas ambientales generados por la actividad del hombre en la antropósfera, cambiando los paradigmas de abordamiento de la problemática ambiental, ya que no se persigue la búsqueda de tecnologías para la depuración o disposición final de los residuos, sino que el enfoque es prevenir y evitar en lo posible la generación y acumulación de los mismos, es decir, acercarse al concepto de desarrollo sostenible, de aprovechar racionalmente los recursos naturales para satisfacer las necesidades actuales de la sociedad sin comprometer las posibilidades de aprovechamiento de las generaciones futuras.

Estas experiencias, de resultar positivas como será lo más probable dadas las evidencias consultadas, podrán ser difundidas a nivel nacional e internacional a fin de propiciar su evaluación y mejora continua.

### **Conclusiones**

1. El flujo total de bienes desde el periodo neolítico hasta la sociedad urbana actual, 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.

2. Si se pretende conservar la calidad del medio ambiente, a través de políticas y acciones para la protección ambiental y la gestión de recursos y residuos, se deben reducir los flujos de materiales en la interfase antropósfera-ambiente a niveles sostenibles.
3. En áreas urbanas, como la de Tuxtla Gutiérrez, la economía doméstica es el proceso más importante para un análisis como el de AFM. Por lo que el manejo de residuos al interior de las viviendas es uno de los aspectos más importantes para lograr el manejo integral de los recursos y residuos a nivel regional.
4. El modelo de AFM permitirá simular diferentes escenarios para diferentes horizontes de proyección, con lo que se podrán observar los resultados de diferentes políticas o estrategias que pudieran implementarse, como por ejemplo al aplicar el balance hídrico, en la dotación por habitante, incrementos en la importación de otros sistemas (cuenca del Grijalva que actualmente se lleva a cabo) de programas de reforestación, tratamiento de residuos líquidos, entre otros.
5. Por todo lo anterior, es urgente y necesario encontrar e implementar herramientas que permitan efectuar un cambio que posibilite involucrar la forma tradicional de actuar a través de la protección ambiental (identificando riesgos y mitigando efectos por medio de reglamentaciones) con la aplicación del concepto de desarrollo sostenible.

## **Bibliografía**

- Anderberg, S., Bauer, G., Ermoliev, Y. y Stigliani, W. 1993. ***Mathematical Tools for Studies of Industrial Metabolism***. Working Paper 93-9. International Institute for Applied systems Analysis. Austria.
- Baccini, P. y Brunner, P. H. 1991. ***Metabolism of the Antroposphere***. Springer-Verlag, Ed. Germán.
- Baccini, P., Daxbeck, H., Glenk, E. Henseler, G. 1994. ***METAPOLIS- Material Fluxes and Processes in Private Households of a City***. EAWAG/News. 35E Feb.
- Binder, C., Schertenleib, R., Díaz, J., Baccini, P. 1995. ***The Early Recognition of Environmental Impacts Exemplified with Water Resource Management***. En: "Sustainability of Water and Sanitation Systems" 21<sup>st</sup>. WEDC Conference, Uganda, 4 al 8 de Septiembre.
- Brunner, P. H. y Baccini, P. 1992. ***Regional Material Management and Environmental Protection***. Waste Management and Research. Vol. 10. pp. 203-212.
- Brunner, P. H., Daxbeck, H., y Baccini, P. 1994. ***Industrial metabolism at the regional and local level: A case-study on a Swiss region***. En: *Industrial Metabolism, Restructuring, for Sustainable Development*. Ed. Robert U. Ayres y Udo E. Simonis. Pp.163-193. Tokyo. United Nation University Press.
- Bundi, U. 1994. ***Nitrogen Balance in Switzerland- Guidelines for Environmental Management***. EAWAG News. 35E Feb.
- Díaz, J., Quevedo, C. P., y Binder, C. 1996. **Análisis de Flujo de Materiales para la identificación temprana de problemas ambientales en zonas urbanas**. En: II Encuentro Argentina-Brasil-Colombia de Especialistas en Impactos Ambientales. Junio 5-7. Rosario, Argentina.
- Quevedo, C. P., Díaz, J., y Binder, C. 1996. **Análisis de Flujo de Materiales aplicado al Balance Hídrico del Municipio de Tunja**. En: II Encuentro Argentina-Brasil-Colombia de Especialistas en Impactos Ambientales. Junio 5-7. Rosario, Argentina.
- WHO. World Health Organization. 1989. ***GEMS: Global Environment Monitoring System, Global Freshwater Quality***. Basil Blackwell, Inc. p. 293.