

## **El modelo flujo-fondo para el análisis del metabolismo social y ecológico de cuencas hídricas: Caso cuenca Atoyac-Zahuapan**

### **The flow-fund model to the assessment of the socio-ecological metabolism of the watershed: Atoyac-Zahuapan watershed case**

Miguel A. Morales Mora. Dirección Académica. Colegio de Puebla A.C. Av 41 Pte 505, Gabriel Pastor 1ra Secc, 72420 Puebla, Pue. Tel. 222 226 5400. E-mail: miguelam133@gmail.com

**Palabras clave:** Modelo de flujo-fondo, elementos funcionales y estructurales, metabolismo del agua

**Key words:** flow-fund model, structural and functional elements, water metabolism

#### ***1. La visión tecno-gerencial del uso del agua y el modelo de estado estacionario***

Los ríos y sus paisajes (territorios) son sistemas complejos que escapan a la lógica del pensamiento tecno-gerencial o lineal causa-efecto, debido a que existen ciclos de retroalimentación entre la dinámica poblacional y la disponibilidad de agua.

Salvo contadas excepciones y hasta mediados de los 80's (Toledo-Ocampo, 1984; Toledo-Ocampo, 2006; Cotler-Avalos y Caire, 2009; Delgado-Ramos, 2015), los estudios de cuencas hídricas en México y Latinoamérica han sido históricamente orientados con un enfoque positivista, restringido a tareas y objetivos inmediatos y de manera fragmentaria; de simples caracterizaciones sobre su condición fisicoquímica y biológica, sin que se incorporen nuevos marcos teóricos desde la parte de las ciencias de la complejidad o ciencia post-normal para el análisis como sistema socio-ecológico (SSE) en particular. Lo anterior, porque se parte de la creencia de que estamos ante un bien económico, una mercancía y que la escasez que tratamos o pérdida de calidad de gestionar el agua es física, sin tomar en cuenta que debemos gestionar un bien eco-social (Madrid, 2014). Por su parte, el modelo más utilizado en México para el diseño de las plantas de tratamiento biológico para la remoción de la carga orgánica de las aguas residuales municipales considera un régimen estacionario y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) como parámetro de caracterización. Este modelo no permite predecir el comportamiento dinámico de las plantas, ni determinar con exactitud la demanda de oxígeno para esta remoción de contaminantes de las ciudades-metrópolis; donde convergen las aguas residuales generadas de los hogares y las actividades económicas. Por ello, el estudio del metabolismo social del agua en cuencas hidrográficas, entendida como SSE complejos es hasta la fecha un problema no del todo resuelto (Madrid-López y Giampietro, 2015).

En este contexto, el metabolismo social se refiere al conjunto de procesos por medio del cual las sociedades humanas se apropian, circulan, transforman, consumen agua y la excreta en forma de agua residual. De acuerdo al ciclo hidrológico; de cada 100 mililitros de lluvia, 73% regresa a la atmósfera, 21% escurre hacia ríos y arroyos y 6 % se infiltra en los acuíferos. Esto significa que el sistema ecológico (SE) dispone de una oferta de solo el 27% de agua renovable para mantener las necesidades metabólicas del sistema social (SS). Asimismo, de acuerdo a cifras oficiales, en 2015 se generaron 14 miles de hm<sup>3</sup> de agua residual municipal e industrial, pero solo se trataron el 44 % (CONAGUA, 2016), descargándose el resto sin tratamiento previo a cuerpos receptores.

Por ello, es importante profundizar en el funcionamiento del metabolismo social del agua, incluyendo el flujo de materiales que demandan las sociedades que lo circundan, con el objetivo de identificar los procesos donde se podría intervenir para construir desde diferentes visiones la sustentabilidad de las cuencas hidrográficas y su territorio (Malo-Larrea, 2015).

## II. Análisis sistémico del agua

El metabolismo social del agua ofrece un marco teórico y metodológico capaz de abordar la complejidad de las relaciones (intercambios de flujos de materia y energía) entre SE y el SS en términos de la sostenibilidad de un recurso natural como el agua. En la Fig.1 podemos observar cómo se conecta el SE (visión externa) con el SS (visión interna) y sus relaciones a fin de evaluar de forma sistémica la viabilidad del SSE en su conjunto. A partir del suministro del ciclo del agua y recarga en el ecosistema, podemos evaluar la disponibilidad dada por los cuerpos de agua y/o acuíferos, la cual será apropiada por el SS mediante la extracción para su propio metabolismo interno, y como se distribuye y consume en el uso directo y uso final. Este enfoque permite entender cómo se conecta el metabolismo del ecosistema y la sociedad entre sus **elementos funcionales y estructurales**, y como visualizar si uno u otro se encuentra en estrés o vulnerable, y por el otro, contar con indicadores relevantes: extensivos e intensivos que expliquen el rol del agua para estas dos escalas que permitan su permanencia y resiliencia. Asimismo, esta perspectiva resuelve uno de los principales retos a los que se enfrenta el análisis cuantitativo de sistemas complejos: “la impredictividad”. Es decir, a la relación o interacciones de los elementos de un sistema entre sí, pero también con el sistema en su conjunto (Giampietro, 2003).

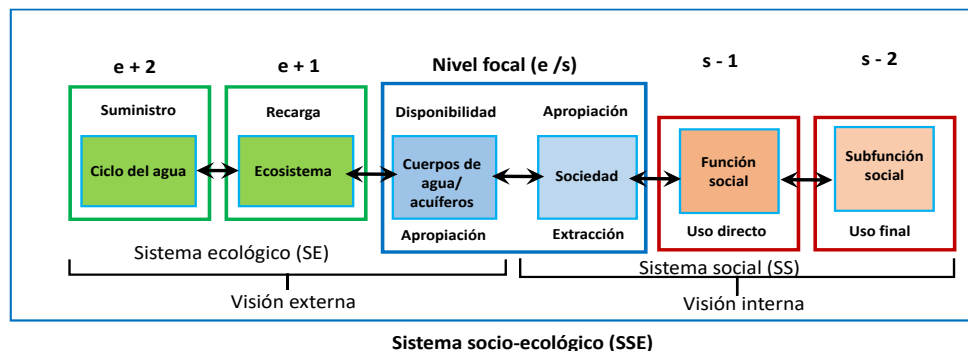


Fig. 1. Niveles jerárquicos y sus relaciones en la gramática del agua para el análisis del Sistema Socio-Ecológico (Madrid et al. 2013)

## III. El modelo de flujo-fondo para el análisis de la sustentabilidad del agua

En la última década y fuera de México, se han desarrollado nuevos enfoques para abordar la sustentabilidad del agua desde la perspectiva del metabolismo social en España (Madrid y Velásquez, 2008; Cabello-Villarejo y Madrid-López, 2014; Cabello-Villarejo, 2015), y Ecuador (Malo Larrea, 2015) a través del uso del **Análisis Multi-escala del Metabolismo Social y Ecológico (MuSIASEM)**. El **MuSIASEM** surge de la bioeconomía; permitiendo estudiar de manera física los **flujos** (agua, materiales, energía, alimentos, residuos, etc.) y **fondos** del agua (ríos, arroyos, subsuelo) a diferentes niveles y escalas; que van del SE al SS, y cómo se distribuyen dentro de este último (Giampietro et al., 2003; Giampietro et al., 2009; Madrid-López et al., 2013; Giampietro et al., 2014; Madrid-López y Giampietro, 2015). El modelo **flujo-fondo** de Georgescu Roegen (1971), permite visualizar los roles no equivalentes que cumple el agua tanto en el metabolismo social, como en el metabolismo ecológico, a diferentes escalas y dimensiones. Los **flujos** son elementos que,

en el período de representación, entran en el sistema, pero que no salen de él, o salen del sistema sin haber entrado; es decir, son elementos que desaparecen o aparecen en el período de estudio. Representan “**lo que el sistema hace**”. Ejemplos de flujos son los combustibles fósiles, la electricidad, los alimentos, o los productos industriales de una economía. Los **fondos** en cambio, son los agentes que mantienen su identidad durante el horizonte de tiempo del análisis. Son quienes realizan las transformaciones de los flujos de entrada, en flujos de salida. De esta manera, ejemplos de fondos son el ecosistema (cuerpos de agua), la población o la tierra colonizada. Los fondos representan “lo que el sistema es”. Finalmente, los **stocks** son la cantidad de flujo acumulado que se agota (ej. acuífero) cuando se extrae un flujo de ellos (Giampietro et al. 2012).

En este contexto, la sustentabilidad del metabolismo del agua en el SSE se refiere al mantenimiento de un conjunto de relaciones entre los elementos estructurales y funcionales del ecosistema y la sociedad, representados en un sistema de cuatro cuadrantes (Giampietro et al. 2012) de acuerdo a las relaciones recíprocas entre sus fondos y sus flujos (Fig. 2), y en rangos admisibles para su permanencia en el tiempo. Así, la discusión sobre la sustentabilidad del agua se establece a través de tres controles (*restricciones recíprocas*) o condiciones para el SSE (Madrid y Giampietro, 2015; Cabello-Villarejo, 2015):

- **Deseabilidad**: es un control cualitativo por parte de los usuarios finales y se relaciona con respecto al desempeño/funcionamiento de los usos del agua en el patrón metabólico. Por ende, un patrón metabólico es conveniente/deseable si los miembros de una sociedad están de acuerdo con el suministro.

- **Viabilidad**: se refiere a la habilidad de los procesos que están bajo el control humano (visión interna) de estabilizar los flujos de agua del patrón metabólico. En este nivel, podemos observar el *comportamiento emergente* de las relaciones entre individuos en niveles más bajos, muchas veces implicando una compensación/solución de compromiso. Este control: relación A y B de la figura 2; se conecta entre la estructura social y demanda de agua por el SS y el suministro de agua por el SE, en el sentido de que el SS depende de la capacidad del ecosistema de suministrar el agua requerida.

- **Factibilidad**: se refiere a la habilidad de los procesos que están fuera del control humano (visión externa) de estabilizar los fondos (rio, arroyo, acuífero, suelo, etc.) del patrón metabólico del agua; con base a las relaciones de la estructura (relaciones C y D de la fig. 2) del ecosistema del suministro de agua para el mismo ecosistema y organización social.

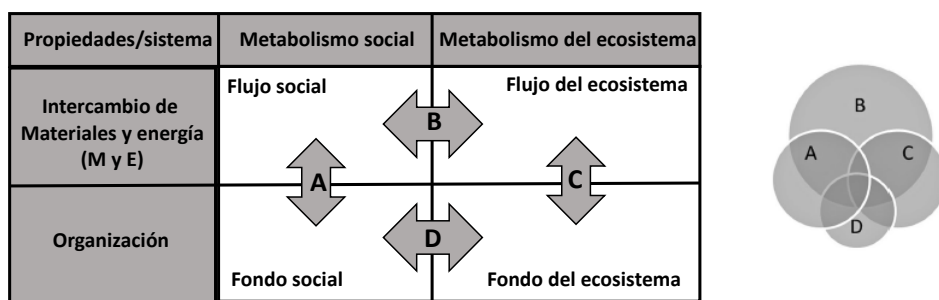


Fig. 2. Marco conceptual del metabolismo del agua del SSE y relaciones relevantes (A, B, C, D) del metabolismo social. **A**: indica la dependencia del fondo social sobre el intercambio de materia (M) y energía (E); **B**: cubre el intercambio de M y E entre la sociedad y el ecosistema; **C**: indica la dependencia de los fondos del ecosistema sobre los flujos de M y E para su propio funcionamiento y reproducción; **D**: se ocupa de la organización estructural de SSE y de la existencia de una conexión entre las estructuras y las funciones sociales y del ecosistema (Madrid y Giampietro, 2015).

Por su parte, la Fig.3 muestra la taxonomía de la gramática del agua, la cual permite entender cómo interactúan los diferentes niveles y escalas del SSE; facilitando medir cada



### *Algunas reflexiones a manera de conclusión*

Los estudios para diagnosticar el estado de las cuencas hidrográficas como la del **Atoyac-Zahuapan**, el uso del agua por la sociedad y su tratamiento, deberá dejar de construirse de manera fragmentaria y reconocerse solo como insumo o mercancía; para pasar a caracterizar el patrón metabólico del agua el cual describe el rol y las relaciones que juegan los elementos estructurales y funcionales del SSE. Estas relaciones deben describirse en términos funcionales (**qué/por qué**) como en términos estructurales (**qué/cómo**), y a través de estos resultados, usar el puente del metabolismo y gobernanza del agua; para plantear un conjunto de acciones integrales de política pública junto con la participación de diversos grupos de interés, a fin de reencausar los estudios de cuencas en México con propuestas que permitan asegurar el equilibrio entre la disponibilidad (oferta) de agua dada por el SE, y la demanda de esta por el SS. Asimismo, reforzar estos diagnóstico dentro del control humano del uso de: (i) la modelación dinámica para el diseño de las plantas de tratamiento (municipales e industriales), a través de los modelos ASM (Activated Sludge Model), (ii) modelación de sistemas dinámicos para evaluar la sustentabilidad actual y futura del SSE y (iii) la necesaria e indispensable participación social de las comunidades afectadas directa e indirectamente en cuanto a disponibilidad y los efectos de la contaminación del agua. Sin embargo y de manera relevante, se requiere un cambio en la gobernabilidad y gobernanza del agua para revertir la actual condición de disponibilidad y tratamiento del agua. Esto demanda un nuevo marco institucional; pasar de una gestión del agua como elemento, recurso o mercancía; para entender y operacionalizar una necesaria y nueva organización institucional dirigida hacia una *gestión integrada del territorio-ecosistema*, es decir del SSE; el cual asegure mantener un metabolismo adecuado del SS sin afectar la reproducción de su base material; de la resistencia y resiliencia del ecosistema. Esto conduce a plantear tres preguntas que quedan abiertas para posteriores discusiones: 1) ¿En qué proporción la pérdida del territorio del SE está limitando la escasez de agua; dada la cantidad de agua renovable disponible por el ciclo hidrológico?, 2) ¿En qué medida esta escasez y las limitaciones internas del SS (gobernabilidad, gobernanza, desarrollo urbano e infraestructura de agua-tratamiento), limitan la viabilidad de las metrópolis, y 3) ¿En qué medida estas dos dificultades del SSE, afectan el desarrollo regional y social?

### **BIBLIOGRAFIA**

1. Allan, J.A. 2001. *The Middle East Water Question: Hydropolitics and the Global Economy*. 1st edition. I.B. Tauris.
2. Cabello-Villarejo, V. & Madrid Lopez, C, 2014. Water use in arid rural systems and the integration of water and agricultural policies in Europe: the case of Andarax river basin. *Environment, Development and Sustainability*. Volume 16, Issue 4, pp 957–975
3. CONAGUA, 2016. *Atlas de Agua en México*. SEMARNAT-CONAGUA. México, D.F. 140 p.
4. Cotler-Avalos H. y Caire, G., 2009. *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. INE-SEMARNAT, Fundación Gonzalo Rio Arronte, WWF. 380 p.
5. Delgado-Ramos G.C. & Louise Guibrinet, 2017. Assessing the ecological dimension of urban resilience and sustainability. *International Journal of Urban Sustainable Development*. ISSN: 1946-3138 (Print) 1946-3146 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/tjue20>
6. Giampietro, M., 2003. *Multi-Scale Integrated Analysis of Agroecosystems*. *Advances In Agroecology*. Reino Unido: CRC Press INC.

7. Giampietro, M.; K. Mayumi y J. Ramos Martín (2009). Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale. *Energy* 34 (3): 313–322.
8. Giampietro, M.; K. Mayumi y A.H. Sorman (2012). *The Metabolic Pattern of Societies: Where Economists Fall Short*. Routledge Studies in Ecological Economics. Routledge.
9. Giampietro, M.; R.J. Aspinall; J. Ramos Martín y S. Bukkensed. (2014). *Resource Accounting for Sustainability Assessment: The Nexus between Energy, Food, Water and Land Use*. Routledge Explorations in Sustainability and Governance. London, UK: Routledge: Taylor and Francis Group.
10. Georgescu-Roegen, N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press, Cambridge.
11. INEGI, 2018. Estadísticas a propósito del día mundial del agua. Disponible: [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2018/agua2018\\_Nal.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2018/agua2018_Nal.pdf)
12. Madrid-López, C.; V. Cabello y M. Giampietro, 2013. Water-Use Sustainability in Socioecological Systems: A Multiscale Integrated Approach. *BioScience* 63 (1): 14–24.
13. Madrid-López, C. y M. Giampietro, 2014. Water Grammar. En: *Resource Accounting for Sustainability Assessment: The Nexus between Energy, Food, Water and Land Use* Routledge Explorations in Sustainability and Governance. London, UK: Routledge: Taylor and Francis Group.
14. Madrid-López, C. y M. Giampietro, 2015. The Water Metabolism of Socio-Ecological Systems Reflections and a Conceptual Framework. *Journal of Industrial Ecology*. Volume 19, Number 5.
15. Malo Larrea A., 2015. El metabolismo social, el *Sumak Kawsay* y el territorio: El caso de Cuenca, Ecuador. Tesis Doctoral. Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambientales. Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals. Universitat Autònoma de Barcelona, España.
16. Toledo-Ocampo A., 1988. Medio ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo, México D.F. 88 p.
17. Toledo-Ocampo A., 2006. Agua, hombre y paisaje. SEMARNAT-INE. 261 p.