

MODELO PARA LA GESTIÓN DEL USO URBANO DEL RECURSO AGUA. 1ª PARTE

Josefina Mangussi¹
Facultad Regional Tucumán – UTN
Rivadavia 1050 - (4000) San Miguel de Tucumán.
Te: 381 421 7150
Email: jmangussi@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN: Se presenta la primera parte de un modelo para la gestión del recurso agua. El estudio se centra en una ciudad y se incluye la extracción del agua desde el medio ambiente, el proceso de potabilización, la distribución, el uso del agua potable, el proceso de recolección, el tratamiento de los efluentes y la devolución del agua al medio ambiente. Se realiza un análisis detallado del balance de los flujos de agua, la relación con el flujo de energía se incorpora a través de funciones y de parámetros ajustables. Se ha obtenido un sistema de ecuaciones que abarca el panorama general con un grado razonable de detalle. El próximo paso es su validación con un conjunto de datos completo y cerrado en sí mismo.

Palabras clave: gestión del agua, uso urbano, modelo.

INTRODUCCIÓN

Existe un cambio en la actitud pública hacia el medio ambiente en los países en desarrollo tanto en el aspecto global como también en los problemas internos relacionados con algo tan básico como es el suministro de agua. El agua es proporcionada por distintas fuentes naturales y estos son los ecosistemas naturales más intensamente usados por el hombre, donde la demanda aumenta a una proporción que sobrepasa la tasa de construcción de instalación para el tratamiento de efluentes líquidos. Este hecho se considera como una tasa de confrontación inadecuada que está en el núcleo de las dificultades del hombre con su medio ambiente.

El marco conceptual elegido para el estudio que desarrolla a continuación incluye (a) consideraciones de la bioeconomía, como un tipo de economía ampliada que incluye una contabilidad de costos de los trabajos de la naturaleza, así como también de los trabajos del hombre y (b) el manejo del hombre y de su medio ambiente como un todo más que como entidades separadas. Dentro de este marco se elabora un modelo para la gestión del uso urbano del recurso agua que contribuirá a: (i) el mejoramiento del uso del recurso agua, (ii) la disminución del derroche del recurso agua, (iii) el mejoramiento de la calidad de vida de la población, (iv) la preservación del medio ambiente. La primera etapa del modelo se presenta en este trabajo.

El sistema a estudiar incluye todas las acciones de un grupo de seres humanos en relación al uso del recurso del agua. El sistema no está aislado sino sumergido en el medio ambiente, por lo tanto se admite la existencia de flujos de masa, de energía y de entropía, este último interpretado como el flujo de información a través de la frontera sistema - medio ambiente. El estudio se centra en una ciudad y las acciones humanas sobre el recurso agua incluyen: (a) su extracción desde el medio ambiente; (b) el proceso de potabilización y de distribución; (c) el uso del agua potable; (d) el proceso de recolección y tratamiento de los efluentes, (e) la devolución del recurso al medio ambiente.

Un estudio completo requiere el balance de masa, el balance de energía y el balance de entropía – información cuyos flujos están relacionados entre ellos. El balance de masa incluye principalmente el del recurso agua, el de energía incluye los costos y de alguna manera las tecnologías usadas en los diferentes procesos. El balance de entropía – información está relacionado con las alteraciones producidas en la calidad del medio ambiente y en la calidad de vida de los usuarios del recurso dentro del sistema.

La primera etapa del modelo se centra en el análisis detallado del balance de los flujos de agua, en el cual la relación con el flujo de energía se incorpora a través de funciones y de parámetros ajustables.

FORMULACIÓN DEL MODELO

En el balance del recurso de agua el sistema (constituido por la ciudad de San Miguel de Tucumán) tiene dos interacciones con el medio ambiente:

- a) La extracción del recurso natural, tanto de origen superficial como de origen subterráneo.

¹ También, Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT.

b) La devolución del agua al medio ambiente. La contribución principal es el efluente tratado vertido al río. Existen otras dos contribuciones, una hacia la atmósfera por evaporación y otra hacia el suelo por infiltración. La definición del sistema, el medio ambiente y las interacciones entre ambos a través de la frontera se muestra en la figura 1.

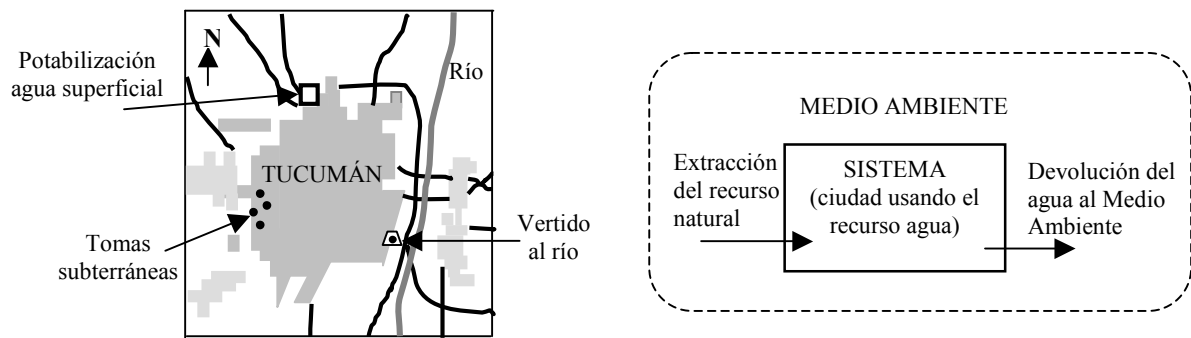


Figura 1. Tomas del recurso natural en la ciudad y vertido del efluente al río. Esquema: Sistema, Medio Ambiente y Flujos de agua a través de la frontera.

El balance de agua se analiza en tres partes: (a) potabilización y distribución; (b) uso del recurso; (c) recolección y tratamiento. En la figura 2 se muestra el detalle del sistema propuesto (ciudad) y los flujos considerados como caudales en unidades de volumen / tiempo.

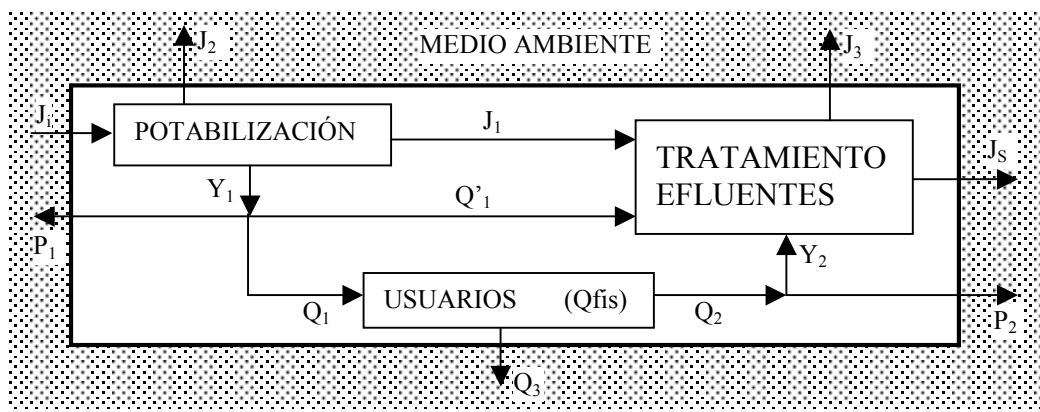


Figura 2. Partes del sistema. Definición de los flujos de agua entre las partes y con el medio ambiente

Los flujos se identifican de la siguiente manera:

- J_i es el recurso natural tomado del medio ambiente.
- J_1 es el efluente producido durante el proceso de potabilización.
- J_2 representa la evaporación durante el proceso de potabilización.
- Y_1 es el flujo de agua potable producido.
- P_1 representa las pérdidas en la red de distribución de agua potable.
- Q_1 es el agua potable que reciben los usuarios.
- Q'_1 es el agua potable que requiere el tratamiento de los efluentes.
- Q_{fis} es el agua potable que los usuarios incorporan a su metabolismo.
- Q_2 es el efluente devuelto por los usuarios a la red de distribución.
- Q_3 es el efluente devuelto por los usuarios directamente al medio ambiente.
- P_2 representa las pérdidas en la red de recolección del efluente.
- Y_2 es el efluente originado por los usuarios que será tratado.
- J_s es el efluente tratado que se devuelve al medio ambiente.
- J_3 representa la evaporación durante el tratamiento de los efluentes (piletas).

Los balances de agua son:

Para la potabilización y la distribución:

$$J_i = J_1 + J_2 + Y_1 \quad Y_1 = P_1 + Q_1 + Q'_1 \quad (1)$$

Para el empleo del recurso por parte de los usuarios:

$$Q_1 = Q_{\text{fis}} + Q_2 + Q_3 \quad (2)$$

Para la recolección y tratamiento de efluentes:

$$Q_2 = P_2 + Y_2 \quad Q'_1 + Y_2 + J_1 = J_s + J_3 \quad (3)$$

Procesos de potabilización y de tratamiento de efluentes.

La metodología en uso (Estrela, 1992) recomienda la formulación de hipótesis basándose en los datos disponibles y en la experiencia con sistemas similares y la formulación de ecuaciones para la construcción de un modelo conceptual. A continuación se proponen funciones matemáticas con parámetros específicos para los procesos de potabilización y de tratado de los efluentes.

En la extracción de recursos naturales es común establecer una función de producción para el recurso útil extraído, en la cual intervienen el flujo del recurso primario, el flujo de energía y los conocimientos del proceso (Ruth, 1993). Esta función describe esencialmente la eficiencia del proceso que compara el recurso útil extraído con el recurso natural primario usado. Al generalizar el concepto de esta función la comparación se establece entre el flujo del material producido y el flujo del material utilizado.

Para el proceso de potabilización se propone una función que relaciona el agua potable producida (Y_1) con el recurso natural tomado del medio ambiente (J_i), mientras que para el proceso de tratamiento de efluentes la función relaciona el efluente tratado devuelto al río (J_s) con los efluentes sin tratar que ingresan al proceso ($Y_2 + J_1$). Las relaciones se expresan de la siguiente manera:

$$Y_1 = F_P \cdot J_i \quad (\text{potabilización}) \quad J_s = F_T \cdot (Y_2 + J_1) \quad (\text{tratamiento efluentes}) \quad (4)$$

Se propone para F_P y F_T el mismo tipo de relación funcional para la eficiencia del proceso, con una variable (E) que tiene en cuenta la energía, los materiales y el trabajo humano del proceso y un parámetro (α) que está relacionado con la tecnología del proceso. Se usan pares de datos reales (F_{0P} , E_{0P}) y (F_{0T} , E_{0T}) correspondientes a cada uno de los procesos para adimensionar la variable E y obtener el parámetro α . La forma funcional propuesta es:

$$F = 1 - \exp(-\alpha E / E_0) \quad \text{con} \quad \alpha = -\ln(1 - F_0)$$

Particularizada para ambos procesos queda:

$$F_P = 1 - \exp(-\alpha_P E / E_{0P}) \quad F_T = 1 - \exp(-\alpha_T E / E_{0T}) \quad (5)$$

Donde el subíndice P corresponde al proceso de potabilización y el subíndice T al proceso de tratamiento de efluentes.

Los usuarios dentro del modelo.

En la ciudad que constituye el sistema para el modelo, sólo una parte de los habitantes con servicio de agua disponen del servicio de recolección de efluentes. Esta situación se reflejará a través del parámetro $Z = (\text{Número de habitantes con servicio de agua y con servicio de cloaca}) / (\text{Número de habitantes con servicio de agua con o sin servicio de cloaca})$.

El balance propuesto para el usuario en (2), $Q_1 = Q_{\text{fis}} + Q_2 + Q_3$ puede separarse como:

$$\begin{aligned} Z Q_1 &= Z Q_{\text{fis}} + Q_2 + Z Q_R && \text{para los usuarios con servicio de cloaca} \\ (1-Z) Q_1 &= (1-Z) Q_{\text{fis}} + Q'_2 + (1-Z) Q_R && \text{para los usuarios con servicio de cloaca} \end{aligned}$$

Con: $Q_3 = Q'_2 + Q_R$.

Donde:

Q'_2 es el efluente que debería ir a la cloaca y va al medio ambiente.

Q_R es el efluente que el usuario devuelve al medio ambiente haya o no haya cloaca.

Si se admite que los usuarios tienen el mismo comportamiento dispongan o no de servicio de recolección de efluentes, se puede expresar Q'_2 en función de Q_2 y de Z de la siguiente manera:

$$Q'_2 = Q_2 (1-Z)/Z$$

El balance para el empleo del recurso por parte de los usuarios (2) se escribe ahora de la siguiente manera:

$$Q_1 = Q_{fis} + Q_2 / Z + Q_R \quad (6)$$

Cuya lectura significa que el usuario recibe Q_1 del recurso y le da el siguiente empleo:

- incorpora a su metabolismo: Q_{fis}
- devuelve al medio ambiente: Q_R
- devuelve al sistema de recolección: Q_2 .

REQUERIMIENTOS DEL MODELO

Para una primera estimación numérica se usan los valores facilitados por personal de la entidad que brinda los servicios de agua potable y de tratamiento de efluentes. Son valores estadísticos históricos que cubren hasta 1998 y en algunos casos hasta 2000 (Molteni, 2001). Los valores disponibles para el modelo se muestran en la Tabla 1.

| Variables y parámetros del modelo | Símb. | Valores numéricos. | Origen y observaciones. |
|---|-------------|------------------------------------|---|
| Recurso natural (63% superficial y 37% subterráneo). | J_i | 292.638 m ³ por día | Entidad proveedora. |
| Producción de agua potable. | Y_1 | 246.174 m ³ por día | Entidad proveedora. |
| Efluentes recolectados. | $Y_2 + J_1$ | 235.200 m ³ por día | Estimado para 1990. |
| Efluente devuelto al río. | J_s | 232.752 m ³ por día | Estimado para 1990. |
| Nº de habitantes con servicio de agua. | | 492.348 | En 1998. |
| Nº de habitantes con servicio de agua y servicio de cloaca. | | 393.581 | En 1998. |
| Consumo promedio per capita. | Q_1 | 500 litros por habitante y por día | Estimado por entidad proveedora. |
| Costo de proceso de potabilización. | E_{OP} | 11.055,21 US\$/día. | Entidad proveedora. |
| Costo de proceso de tratamiento de efluentes. | E_{OT} | 8.885,33 US\$/día. | Estimado sobre datos de entidad proveedora. |
| Consumo fisiológico no regresado al medio ambiente. | Q_{fis} | 1,36 litros por persona y por día | (Odum, 1979). |

Tabla 1: Valores disponibles para el modelo

La información adicional sobre el consumo de agua potable correspondiente a otros países se muestra en la Tabla 2.

| Consumo | Valores | Origen |
|--|---|---|
| Consumo medio diario por vivienda en Madrid. | <ul style="list-style-type: none"> • 500 a 1000 litros • mayor que 1000 litros | (Comunidad de Madrid, 2000) |
| Consumo medio mensual en Montevideo. | <ul style="list-style-type: none"> • Domiciliario: 10,89 m³ • Comercial e industrial: 16 m³ | (Intendencia Municipal de Montevideo, 2001) |
| Consumo mensual por vivienda, en pequeñas ciudades de Guatemala. | Tres categorías: 20 m ³ , 30 m ³ y 45 m ³ | (Walker, 2004) |

Tabla 2: Consumo de agua potable en otros países

En lo que se refiere al caudal de agua potable que consumen los usuarios y al caudal de las pérdidas, la información disponible es muy poco precisa (Molteni, 2001):

“ Para evaluar el consumo promedio per capita hay que tener en cuenta la influencia climática y el hecho de ser un servicio de provisión de agua a “canilla libre” es decir que no se mide el consumo sino que se cobra una tarifa fija de acuerdo a las características edilicias y ubicación de las propiedades a servir, lo que aumenta la demanda. La falta de macro y micro medición atenta contra una correcta valoración de la dotación al no poder cuantificarse debidamente las pérdidas que se producen en las cañerías que componen la red distribuidora. El consumo promedio per capita se estima en 500 litros por habitante y por día.”

A pesar de lo anterior, se admite que los flujos de evaporación pueden ser modelados en forma aceptable a partir de datos reales específicos. Los valores disponibles permiten estimar con la expresión (4): $F_{OP} = Y_1/J_1$ $F_{OT} = J_s/(Y_2+J_1)$.
La primera aproximación para los parámetros α se obtiene con la expresión (5): $\alpha_p = 1,465$ $\alpha_T = 4,566$.
Para el parámetro Z se obtiene el valor $Z = 0,799$.

El modelo se plantea en forma adimensionada; las funciones de potabilización y tratamiento (F_p y F_T) ya fueron definidas de esa manera, mientras que los flujos se adimensionan con el flujo del recurso natural tomado del medio ambiente. Así, los valores adimensionados disponibles, además de Z , son:

$$J_i/J_i = 1, \quad Y_i/J_i = 0,841, \quad (Y_2+J_1)/J_i = 0,804, \quad Q_{fis}/J_i = 0,002, \quad J_s/J_i = 0,795.$$

Las relaciones (1), (3), (4), (5) y (6) constituyen el modelo cuyos resultados con relación a la producción, uso y tratamiento posterior del recurso agua se obtendrán de los parámetros de ajuste.

CONCLUSIONES Y ETAPAS SIGUIENTES

Se considera que el modelo propuesto en esta primera etapa abarca el panorama general con un grado razonable de detalle. El próximo paso es su validación para lo cual es indispensable disponer de un conjunto de datos completo y cerrado en sí mismo.

A los fines de afinar el modelo es importante disponer de la variación estacional de los datos y de la proporción de uso industrial del recurso que hasta ahora ha sido supuesto únicamente domiciliario.

SOPORTE INSTITUCIONAL

Este trabajo ha sido realizado dentro del Proyecto de Investigación y Desarrollo PID 25/P020: Bioeconomía de la Gestión del Agua: Modelización y Calidad Ambiental. 2004 – 2007. CEDIA (Centro de Ingeniería Ambiental, FRT - UTN).

REFERENCIAS

- Comunidad de Madrid. (2000). Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid. N° 308. 22/12/2000. España.
- Estrela T. (1992). Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos Cap. II pp. 9 y ss. Publicación CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de obras públicas) ISSN 0211-6499. España.
- Intendencia Municipal de Montevideo. Dec. De la Junta Deptal. N° 294434 / Res. Del Intendente N° 2377-01. Uruguay.
- Molteni R. 2001. Informe interno sobre el estado de la explotación de los servicios de provisión de agua potable y colección de líquidos cloacales. Obras Sanitarias de Tucumán.
- Odum E. 1979. Ecología. Cessa. México. Apéndice III.
- Ruth M. (1993). Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics, Cap. 9 pp- 129 y ss. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Walker I. (2004). La demanda para agua en ciudades centroamericanas: lecciones aprendidas para cumplir con las Metas del Milenio. Conferencia Regional sobre las Metas del Milenio en Agua Potable y Saneamiento. Guatemala.

ABSTRACT

The first part of a model for the management of the water resource is presented. The model is set for a city and it includes the water extraction from the environment, the cleaning process and the distribution of the potable water, the use of the water, the collection and the treatment of the sewage and finally the restitution of the water to the environment. The water fluxes are analyzed and the energy is incorporated by the use of functions and adjustable parameters. A set of equations for modeling a detailed overview is obtained. The model will be validated by using a complete set of real data.

Keywords: water management, urban use, model.