

MODELO PARA LA GESTIÓN DEL USO URBANO DEL RECURSO AGUA: INFLUENCIA DEL COMPORTAMIENTO DEL USUARIO

J. Mangussi¹, S. Moya
 Facultad Regional Tucumán (FRT) – Universidad Tecnológica Nacional (UTN)
 Rivadavia 1050 - C. P. 4000 San Miguel de Tucumán.
 Tel. 381-4217150 email: jmangussi@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN: Se modela la gestión del uso urbano del recurso agua incluyendo las acciones de un grupo de seres humanos. El modelo describe los procesos de potabilización y de tratamiento de efluentes con funciones matemáticas. Las pérdidas en el sistema de distribución y de recolección se proponen proporcionales a los respectivos flujos. Se incorpora el comportamiento social del usuario. Se introduce un flujo de recreación que tiene en cuenta las costumbres sociales y el clima y se analiza su influencia en el flujo hacia el medio ambiente. Se obtienen las contribuciones “aceptables” y “no aceptables” del flujo hacia el medio ambiente según el tipo de usuario respetuoso e irrespetuoso. 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.

INTRODUCCION

El marco conceptual elegido para el estudio que se desarrolla a continuación incluye: (i) 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; (ii) 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: (a) el mejoramiento del uso del recurso agua; (b) la disminución del derroche del recurso agua; (c) el mejoramiento de la calidad de vida de la población; (d) la preservación del medio ambiente. 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 balance del recurso agua del sistema, aplicado a la ciudad de San Miguel de Tucumán tiene dos interacciones con el medio ambiente: (i) La extracción del recurso natural, tanto de origen superficial como de origen subterráneo. (ii) La devolución del agua al medio ambiente cuya 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. El balance de agua se analiza en tres partes: (a) potabilización y distribución; (b) uso del recurso; (c) recolección y tratamiento. (Mangussi, 2006). El detalle del sistema propuesto (ciudad) y los flujos considerados como caudales en unidades de volumen / tiempo se muestra en la figura 1.

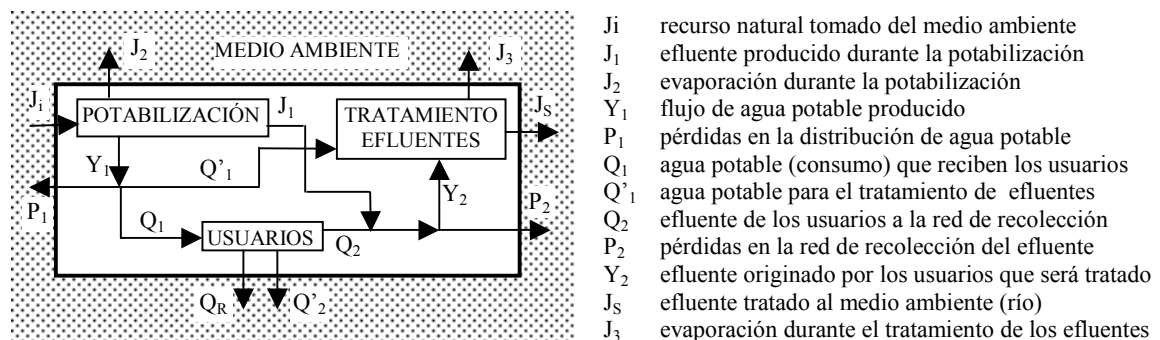


Figura 1. Partes del sistema. Definición de los flujos de agua entre las partes y con el medio ambiente

Los flujos que el usuario devuelve directamente al medio ambiente son: Q'_2 que es el efluente devuelto por los usuarios que no tienen servicio de cloaca y Q_r que es el flujo devuelto al medio ambiente por el usuario con o sin servicio de cloaca. Para tener en cuenta la disponibilidad de servicios ofrecidos a los usuarios se define el parámetro Z ($0 < Z \leq 1$) como: $Z = (\text{usuarios con agua y cloaca}) / (\text{usuarios con agua y sin cloaca})$. Se analiza el flujo devuelto al medio ambiente, J_{MA} , según el comportamiento del usuario y la influencia de las pérdidas.

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

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Los procesos de potabilización y de tratamiento de efluentes son modelados con funciones matemáticas cuya variable tiene en cuenta la energía, los materiales y el trabajo humano y con un parámetro que está relacionado con la tecnología del proceso. Los balances que se usan en las siguientes secciones son: $(Q'_1 + Y_2 = J_3 + J_S)$, $(Y_2 = Q_2 + J_1 - P_2)$ y $(Q_1 = Q_2 + Q'_2 + Q_R)$. Si se asume que el usuario tiene igual comportamiento tenga o no servicio de cloaca se obtiene: $Q'_2 = Q_2 \cdot (1-Z)/Z$. El flujo Q_R (flujo de recreación) tiene en cuenta comportamientos culturales como el regado de jardines y el llenado de piscinas de lona que renuevan el agua; también incluye el hecho de que el factor climático y las condiciones urbanísticas hacen del agua un suplemento del acondicionamiento del ambiente en verano. (Mangussi, 2006).

El comportamiento social del usuario se incorpora al modelo con el parámetro ξ ($0 \leq \xi \leq 1$) que se puede asociar a una "conciencia ecológico-social", tal que $\xi = 1$ representa al usuario respetuoso y $\xi = 0$ representa al usuario irrespetuoso. De esta manera la demanda de agua potable por parte del usuario se expresa como $Q_1 = Q_u + Q_d (1-\xi)$ donde, Q_u es el agua que el usuario necesita para una buena calidad de vida y Q_d es el agua que el usuario desperdicia sin mejorar su calidad de vida (Mangussi, 2007).

Se modelan las pérdidas a través de un parámetro g ($0 \leq g \leq 1$) y se las propone proporcionales al flujo. En el sistema de distribución de agua potable, $P_1 = g \times Y_1$ y en el sistema de recolección de efluentes, $P_2 = g \times (J_1 + Q_2)$. El caso ideal corresponde a $g = 0$. Dado que en una ciudad se espera que siempre exista alguna pequeña pérdida que esté en reparación, el mejor caso real corresponde a $g = g_0$, con $g_0 \ll 1$. (Mangussi, 2008).

El balance del recurso agua impone que el flujo hacia medio ambiente (J_{MA}) sea igual al flujo de recurso natural tomado (J_i). Para analizar el flujo devuelto al medio ambiente se explicitan sus contribuciones:

$$J_{MA} = (J_2 + J_3) + (P_1 + P_2) + J_S + Q'_2 + Q_R \quad (1)$$

Se propone para el flujo de recreación una dependencia lineal con el consumo, $Q_R = f_q \times Q_1$, donde f_q tiene en cuenta los tipos de viviendas, las costumbres sociales y la estación del año. Las contribuciones del flujo devuelto al medio ambiente se describen en la tabla 1.

Contribución	origen	calidad	destino	aceptación
$J_2 + J_3$	evaporación	limpio	aire	Sí
$P_1 = g (Q_1 + Q'_1)/(1-g)$	pérdida agua potable	limpio	suelo y ¿aire?	No
$P_2 = g (J_1 + Q_2)$	pérdida efluente	sucio	suelo y ¿aire?	No
$J_S = Q'_1 + (J_1 + Q_2) (1-g) - J_3$	efluente tratado	limpio	río	Sí
$Q'_2 = Q_2 (1-Z)/Z$	efluente sin tratar	sucio	suelo	No
$Q_R = f_q Q_1$	recreación	¿limpio?	suelo y aire	Sí

Tabla 1. Contribuciones del flujo devuelto al medio ambiente

Si se divide en el consumo (Q_1) la expresión para el flujo hacia el medio ambiente de la expresión (1) queda:

$$\frac{J_{MA}}{Q_1} = \left(\frac{J_2}{Q_1} + \frac{J_3}{Q_1} \right) + \frac{g}{1-g} \left(\frac{Q_1}{Q_1} + \frac{Q'_1}{Q_1} \right) + g \left[\frac{J_1}{Q_1} + \frac{Q_2}{Q_1} \right] + \frac{Q'_1}{Q_1} + \left(\frac{J_1}{Q_1} + \frac{Q_2}{Q_1} \right) - \frac{J_3}{Q_1} + \frac{(1-Z) Q_2}{Z Q_1} + f_q \times \frac{Q_1}{Q_1} \quad (2)$$

ESTIMACIONES DE FLUJOS Y PARÁMETROS

Relacionados con los procesos y servicios.

Como no se dispone de un conjunto completo y cerrado de datos se realizan estimaciones a partir de 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). Se toma para el consumo el valor estimado por la entidad proveedora, que no dispone de mediciones domiciliarias, y se usan los valores del número de viviendas con servicio de agua, del número de viviendas con servicio de agua y cloaca y del número promedio de habitantes por vivienda. Se dispone de información detallada, pero no actual, del funcionamiento del proceso de tratamiento de efluentes (Grañón, 1993). No hay datos suficientes para estimar Q'_1/Q_1 , para los otros flujos se obtiene de datos indirectos:

$$J_3/Q_1 = 0,011 \quad J_2/Q_1 = 0,007 \quad J_1/Q_1 = 0,20 \quad \text{y se obtiene directamente: } Z = 0,8.$$

Relacionados con el usuario.

Para la demanda por parte del usuario se estiman: $Q_u/Q_1 = 0,78$ y $Q_d/Q_1 = 0,22$.

Para el vertido de recreación se tiene en cuenta la fracción de viviendas con flujo de recreación y los vertidos por regado de jardines, vaciados de piletas de lona y regado de calles de tierra. Estos vertidos tienen una dependencia estacional fuerte y para el estudio que se realiza a continuación se ha elegido una estación exigida ($f_q = 0,14$) y el promedio anual ($f_q = 0,06$).

EL FLUJO DE RECREACIÓN Y EL FLUJO AL MEDIO AMBIENTE

Para analizar como depende el flujo hacia el medio ambiente con el vertido de recreación (Q_R), se asume que Q_2 es constante, se fija $Z = 0,8$ y se calcula J_{MA} para $f_q = 0,06$ y $f_q = 0,14$. Para comparar se adimensiona con el valor del consumo correspondiente al promedio anual del vertido de recreación ($f_q = 0,06$). Se incluyen los valores estimados para (J_3/Q_1) , (J_2/Q_1) y (J_3/Q_1) mientras que (Q'_1/Q_1) no se incluye. Se observa que como $Q_2(0,06) = Q_2(0,14)$ el cociente $Q_2 / Q_1(0,06)$ es constante. Como se necesita evaluar el cociente $Q_1(0,14) / Q_1(0,06)$ se utiliza la expresión $Q_1 = Q_2 / [Z \times (1 - f_q)]$ para obtener: $Q_1(0,14) / Q_1(0,06) = 1,093$.

La expresión (2) particularizada para ambos casos queda:

$$(f_q=0,06) \quad \frac{J_{MA}}{Q_1(0,06)} = 0,018 + \frac{g}{1-g} + g \times 0,952 + [0,952 \times (1-g) - 0,011] + 0,188 + 0,06 \quad (3)$$

$$(f_q=0,14) \quad \frac{J_{MA}}{Q_1(0,06)} = 0,018 + \frac{g}{1-g} \times 1,093 + g \times 0,952 + [0,952 \times (1-g) - 0,011] + 0,188 + 0,153 \quad (4)$$

El flujo hacia el medio ambiente y sus contribuciones calculadas en función de las pérdidas (g) con las expresiones (3) y (4) se muestran en la tabla 2 y en la figura 2.

g	$f_q = 0,06$				$f_q = 0,14$	
	$P_1/Q_1(0,06)$	$P_2/Q_1(0,06)$	$J_S/Q_1(0,06)$	$J_{MA}/Q_1(0,06)$	$P_1/Q_1(0,06)$	$J_{MA}/Q_1(0,06)$
0	0	0,0	0,941	1,207	0	1,300
0,05	0,053	0,0476	0,8934	1,260	0,0575	1,358
0,10	0,111	0,0952	0,8458	1,318	0,1214	1,421
0,15	0,176	0,1428	0,7982	1,383	0,1929	1,493
0,20	0,250	0,1904	0,7506	1,457	0,2733	1,573

Tabla 2. Flujos adimensionados, hacia el medio ambiente y sus contribuciones para dos valores del flujo de recreación.

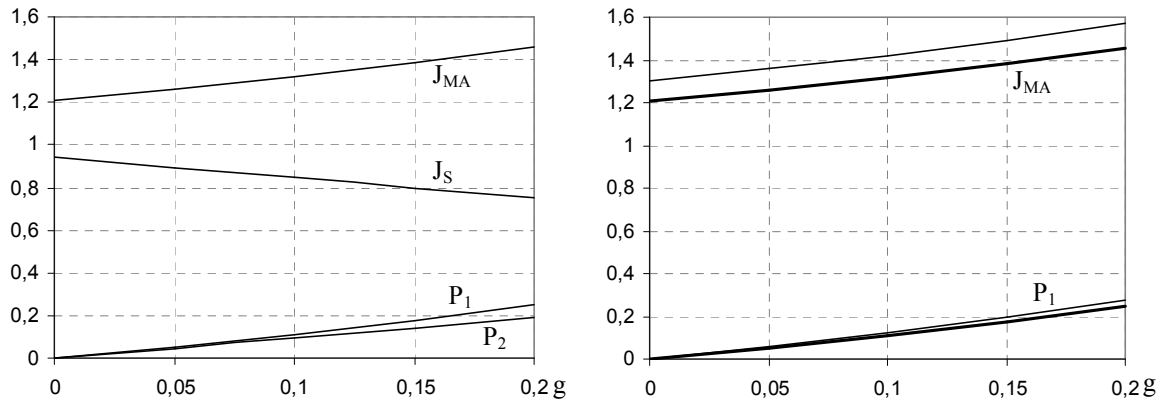


Figura 2. Flujos adimensionados en función de las pérdidas. A la izquierda, (J_{MA}) y algunas de sus contribuciones para flujo de recreación promedio anual. A la derecha, (J_{MA}) y pérdidas de agua potable para dos flujos de recreación: promedio anual (línea gruesa) y estación exigida (línea fina).

Se observa que si aumenta el flujo de recreación, aumentan el vertido al medio ambiente y las pérdidas de agua potable y este aumento crece con el factor de pérdidas g .

EL TIPO DE USUARIO Y EL FLUJO AL MEDIO AMBIENTE

Se analiza el flujo hacia el medio ambiente y sus contribuciones según el tipo de usuario a través del consumo expresado como: $Q_1 = Q_u + Q_d (1 - \xi)$. Se escribe el flujo hacia el medio ambiente con la dependencia explícita en el consumo:

$$J_{MA} = (J_2 + J_3) + \frac{g}{1-g}(Q_1 + Q_u) + g[J_1 + Z(1-f_q)Q_1] + Q_1 + [J_1 + Z(1-f_q)Q_1](1-g) - J_3 + (1-f_q)(1-Z)Q_1 + f_q Q_1 \quad (5)$$

El consumo referido a Q_u es $Q_1/Q_u = 1 + (Q_d/Q_u)(1-\xi)$ que queda, $Q_1/Q_u = 1,28 - 0,28 \times \xi$, usando los valores numéricos estimados.

Usuario respetuoso.

El usuario respetuoso se caracteriza con $\xi = 1$, de manera que la única contribución a $Q_1[\xi=1]$ es Q_u . Si se divide la expresión (5) en (Q_u) y se excluye (Q_1/Q_u) mientras que los valores estimados de (J_2/Q_1) , (J_3/Q_1) y (J_1/Q_1) , se refieren a (Q_u) de la siguiente forma: $(J_{\#}/Q_1) \times (Q_1/Q_u) = (J_{\#}/Q_u)$, se obtiene:

$$\frac{J_{MA}}{Q_u} = \frac{Q_1}{Q_u} \left\{ 0,018 + \frac{g}{1-g} + g[0,20 + Z(1-f_q)] + [0,20 + Z(1-f_q)](1-g) - 0,011 + (1-f_q)(1-Z) + f_q \right\} \quad (6)$$

Con la expresión (6) se estudian los flujos hacia el medio ambiente en función del consumo, para usuario respetuoso, con $Z = 0,8$, $f_q = 0,25$ y dos casos para las pérdidas $g = 0$ y $g = 0,2$. Los resultados se muestran en la tabla 3 y en la figura 3.

Q_1/Q_u	$g = 0$				$g = 0,2$			
	J_{MA}/Q_u	J_S/Q_u	$(P_2 + Q'_2)/Q_u$	P_1/Q_u	J_{MA}/Q_u	J_S/Q_u	$(P_2 + Q'_2)/Q_u$	P_1/Q_u
0,5	0,6035	0,3945	0,0750	0	0,7285	0,3145	0,1550	0,125
0,75	0,9053	0,5918	0,1125	0	1,0928	0,4718	0,2325	0,188
1,0	1,2070	0,7890	0,1500	0	1,4570	0,6290	0,3100	0,250
1,25	1,5088	0,9863	0,1875	0	1,8213	0,7863	0,3875	0,313
1,5	1,8105	1,1835	0,2250	0	2,1855	0,9435	0,4650	0,375

Tabla 3. Flujos adimensionados, hacia el medio ambiente y sus contribuciones para usuario respetuoso y dos valores de g (0 y 0,2). Con $Z = 0,8$; $f_q = 0,25$.

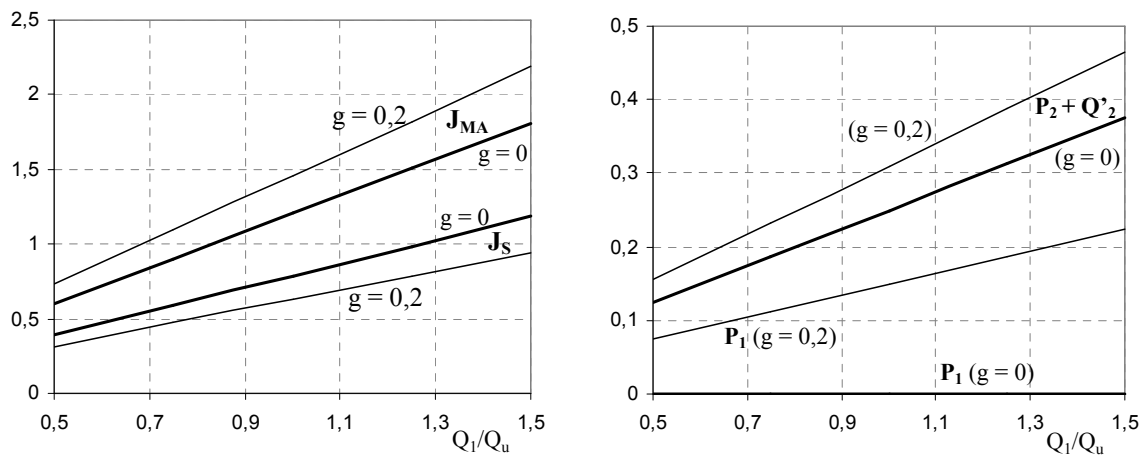


Figura 3. Flujos adimensionados hacia el medio ambiente en función del consumo. Para usuario respetuoso y dos valores de g (0 y 0,2). Con $Z = 0,8$; $f_q = 0,25$.

Como era de esperar, si aumenta la demanda (Q_1) aumenta el flujo devuelto al medio ambiente (J_{MA}); aumenta el efluente tratado devuelto al río (J_S) y también los flujos “no aceptables” hacia el medio ambiente (Q'_2 , P_2 y P_1) sobre los cuales el usuario respetuoso no tiene control directo porque son responsabilidad de la entidad proveedora.

Usuario irrespetuoso.

Para el usuario respetuoso se puede escribir, generalizando la expresión (6): $\text{Flujo}[\xi=1]/Q_u = (Q_1[\xi=1]/Q_u) \times B(g, Z, f_q)$, donde $B(g, Z, f_q)$ es un valor de referencia (Flujo/Q_u). El usuario irrespetuoso se caracteriza con $\xi < 1$ (y $Q_d > 0$). Se asume que Q_u es el mismo para cualquier tipo de usuario y cumple $Q_u = Q_1[\xi=1]$. El consumo para el usuario irrespetuoso es $Q_1[\xi] = Q_1[\xi=1] + Q_d \times (1-\xi)$ y dividiendo por Q_u se tiene:

$$Q_1[\xi]/Q_u = (Q_1[\xi=1]/Q_u) + (Q_d/Q_u) \times (1-\xi) = (Q_1[\xi=1]/Q_u) + 0,28 \times (1-\xi).$$

Un flujo genérico para el usuario irrespetuoso es igual a:

$$\text{Flujo } (\xi) / Q_u = (Q_1[\xi] / Q_u) \times B(g, Z, f_q) = \{(Q_1[\xi=1] / Q_u) + 0,28 \times (1-\xi)\} \times B(g, Z, f_q).$$

Con la expresión anterior se analizan los flujos hacia el medio ambiente para el caso $g = 0,1$ $Z = 0,8$ $f_q = 0,25$. Los valores de referencia $B(g, Z, f_q)$ son:

$$\begin{array}{lll} 0,111 \text{ (para } P_1 / Q_u \text{);} & 0,23 \text{ (para } (P_2 + Q'_2) / Q_u \text{);} & 0,709 \text{ (para } J_S / Q_u \text{);} \\ 1,318 \text{ (para } J_{MA} / Q_u \text{);} & 0,268 \text{ (para } (\text{Evap} + Q_R) / Q_u \text{).} & \end{array}$$

Se elige la situación correspondiente a $(Q_1[\xi=1] / Q_u) = 1$ y el flujo genérico es igual a $[1 + 0,28 \times (1-\xi)] \times B(g, Z, f_q)$. Los resultados se muestran en la tabla 4 y en la figura 4.

ξ	$1+0,28(1-\xi)$	P_1/Q_u	$(P_2+Q'_2)/Q_u$	J_S/Q_u	$(\text{Evap}+Q_R)/Q_u$	J_{MA}/Q_u
0	1,28	0,141	0,294	0,908	0,343	1,687
0,2	1,224	0,136	0,281	0,868	0,328	1,613
0,4	1,168	0,130	0,269	0,828	0,313	1,540
0,6	1,112	0,123	0,256	0,788	0,298	1,465
0,8	1,056	0,117	0,243	0,749	0,283	1,392
1 (referencia)	1,000	0,111	0,230	0,709	0,268	1,318
Incremento porcentual →		27,9 %	27,8 %	28,1 %	28,0 %	28,0 %

Tabla 4. Flujos adimensionados hacia el medio ambiente en función del comportamiento del usuario. Con $g = 0,1$; $Z = 0,8$; $f_q = 0,25$.

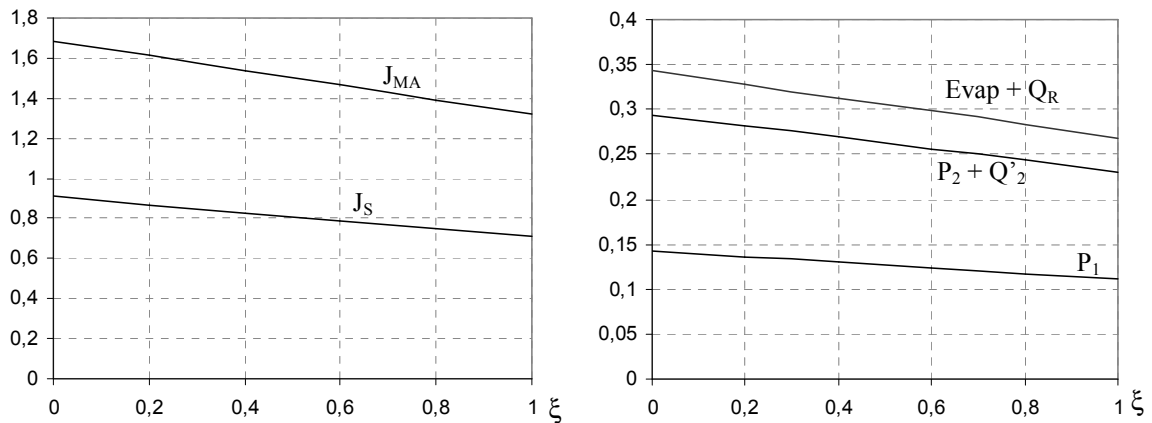


Figura 4. Flujos adimensionados hacia el medio ambiente en función del comportamiento del usuario. Con $g = 0,1$; $Z = 0,8$; $f_q = 0,25$. El usuario respetuoso corresponde a $\xi = 1$ y el usuario totalmente irrespetuoso a $\xi = 0$.

El usuario irrespetuoso contribuye a aumentar todos los vertidos hacia el medio ambiente. El aumento porcentual de cada vertido resulta ser el cociente entre (Q_d / Q_u) .

CONCLUSIONES.

El modelo para la gestión del uso urbano del recurso agua tiene implementados los siguientes aspectos: (a) Balance de agua; (b) Proceso de potabilización. (c) Proceso de tratamiento de efluentes. (d) La disponibilidad de ambos servicios para los usuarios. (e) El comportamiento del usuario. (f) Las pérdidas en sistemas de distribución y de recolección. (g) La calidad y la forma de devolución del recurso al medio ambiente. Con los resultados de este trabajo, se incorporan dos nuevos aspectos: (1) La influencia del flujo de recreación y (2) el efecto del comportamiento del usuario en la calidad y cantidad de los flujos devueltos al medio ambiente.

Los pasos futuros incluyen: (a) Afinar los detalles en el modelado de los aspectos enumerados arriba, para los cual se necesita disponer de datos reales actuales aunque sean de distinto origen. (b) Validar el modelo como un todo para los cual se necesita disponer de un conjunto de datos completo y cerrado en sí mismo, aunque no sea actual.

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

Graño, J. (1993). Información en el ámbito del proyecto PIBa (1992 – 2002). Comisión Nacional de Energía Atómica y Provincia de Tucumán.

- Mangussi, J. (2006). Modelo para la gestión del uso urbano del recurso agua. 1ª parte. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (ISSN 0329-5184), Volumen 10, 2006, pp. 01-75 a 01-79.
- Mangussi, J. (2007). Modelo para la gestión del uso urbano del recurso agua: los procesos y los usuarios. III Jornadas de la ASAUUE (Asociación Argentino Uruguaya de Economía Ecológica). (ISBN 978-987-22038-1-8).
- Mangussi, J. (2008). Modelo para la gestión del uso urbano del recurso agua: las pérdidas y el flujo al medio ambiente. Presentado al IV Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de vida y 5to Congreso de Ambiente y Calidad de Vida. A realizarse septiembre de 2008, en Catamarca, Argentina.
- 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.

ABSTRACT

The model for the management of the water resource includes the water extraction from the environment and the cleaning process as mathematical functions. The leaks in the water distribution and in the sewage collection are proposed as proportional to the fluxes. The user behavior is incorporated. A “recreational flux”, related to the social costumes and to the local weather, is defined and its influence on the restitutive water flux to the environment is analyzed. The “acceptable” or “non acceptable” contributions of the restitutive water flux to the environment depending on the user behavior are obtained. The model will be adjusted and validated by using a complete set of real data.

Keywords: water management, urban use, model.