

# Huella energética del agua y manejo sustentable urbano del agua: diagnóstico estratégico aplicado a la vivienda de Tamaulipas

Córdova Canela, F.<sup>1</sup>

*Fecha de recepción: 28 de agosto de 2012 – Fecha de aprobación: 17 de diciembre de 2012*

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo general el proponer un diagnóstico estratégico aplicable a la vivienda del Estado de Tamaulipas, en cinco ciudades elegidas para tal fin, que vincule los conceptos de huella energética del agua en la vivienda con el manejo sustentable del agua en la ciudad. Dicho diagnóstico identificará las relaciones sistémicas entre los conceptos citados a partir de la interpretación de la información generada desde instrumentos que califiquen la huella energética del agua en la vivienda y el manejo sustentable del agua en las ciudades estudiadas, y se discutirán los resultados mediante un análisis FODA y un mapa conceptual final. De modo que el producto final permita, la descripción de mecanismos y/o procesos que puedan ser utilizadas como hipótesis de trabajo para futuros trabajos de investigación. Subsidiariamente, dichas relaciones se explican desde enfoques teóricos como la Filosofía de la Tecnología, el Ciclo Urbano del Agua, el Ahorro del Agua, identificando adicionalmente propuestas técnicas que pudieran orientar el manejo energético del agua en la vivienda en nuestro país y conceptos tales como macrosistema tecnológico, máxima eficacia tecnológica y tecnología ecológicamente racional.

**Palabras clave:** huella energética del agua, vivienda, manejo sustentable del agua en la ciudad.

## Energy footprint of water and sustainable urban water management: strategic assessment applied to housing in Tamaulipas

### ABSTRACT

This work aims to propose a strategic diagnosis through the development of a conceptual link between the sustainable urban water use and the energy footprint of water in the housing sector for the State of Tamaulipas, by choosing five cities. The methodology is oriented to identify systemic relations between the aforementioned concepts by means of instruments that qualify the performance of the urban sustainable water use and the energy footprint of water in the housing sector. The results are discussed through a SWOT analysis and the systematic relationships are synthesized through a concept map, so that the end result allows the description of mechanisms and/or processes that might be used as working hypothesis in future research initiatives. Furthermore, these relationships are explained with theoretical approaches such as Philosophy of Technology, Urban Water Cycle, Water Conservation, regulations and technical documents that guide energy management in urban water, and concepts like macro-technology, high technological efficiency and environmentally sound technology.

**Keywords:** energy footprint of water, housing sustainable urban water

---

<sup>1</sup> Profesor Investigador del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara, integrante del Cuerpo Académico de Gestión y Tecnología para la Arquitectura y Urbanismo Sustentable y de las Redes del Agua-CONACYT y de Vivienda del Consorcio de Universidades Mexicanas. Correo electrónico: fernando.cordova@cuaad.udg.mx

**Nota:** El período de discusión está abierto hasta el 1° de julio de 2013. Este artículo de divulgación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 16, No.3, 2012, ISSN 1665-529-X.

## **1. Introducción.**

El presente trabajo fue financiado por el Proyecto FOMIX –Tamaulipas “Desarrollo del Código de Costo Energético de las Viviendas en Tamaulipas” con Convenio N°: TAMPS-2010-C27-149982, cuyo objetivo es el desarrollo de un Código de costo energético de la vivienda en Tamaulipas. Los códigos de eficiencia energética determinan los parámetros por los cuales se evaluará energéticamente una vivienda y se asignaría una certificación, ante la falta de este tipo de instrumentos en la actualidad en nuestro país (Roux et al, 2012). El subproyecto que se desprende de la iniciativa central, está relacionado con la medición y diseño del componente del Código energético vinculado con el manejo del agua en la vivienda.

Para 2010 el 77% de la población nacional vive en localidades urbanas, porcentaje de población superior al 71% registrado en 1990 (CONAGUA, 2011), y la tendencia general es que las ciudades se conviertan cada vez más en centro de atracción y crecimiento de la población.

Puede decirse que uno de los retos que afectan la sustentabilidad del agua en las ciudades, es la dificultad para que el abastecimiento y saneamiento del agua sea universal y de calidad (CONAGUA, 2011). Uno de los grandes problemas que enfrenta nuestro país respecto al uso urbano del agua es la dispersión de los centros urbanos existiendo 3,190 localidades urbanas con más de 2,500 habitantes, que representan el 76.5% de la población (Torregrosa, 2012).

La disponibilidad de información es aún incipiente a nivel nacional, existen instrumentos que permiten visualizar el desempeño y la gestión del agua en la ciudad (IMTA, 2012), (CONAGUA, 2011), sin embargo en general no existen mecanismos de validación de la información, y solo incluye el periodo desde 2000 a la fecha en el caso del IMTA, además de no incluir información de consumo energético hasta el 2010.

## **2. Agua y ciudad: relaciones abordadas desde su consideración como sistemas tecnológicos de máxima eficacia.**

Linares (2008) parafraseando a Jacques Ellul identifica la esencia mediática de la Técnica actual, en tanto que es un medio y un conjunto de medios que cumple funciones de intermediación entre el hombre y su antiguo medio ambiente. De tal modo, es significativa la comprensión de las relaciones sistémicas mediante las cuales se ordena el medio técnico y los objetos que lo componen, por lo que

puede describirse en lo general la o las tecnologías configuran macrosistemas integrados por objetos, dispositivos y sistemas técnicos, que interactúan y conviven con sujetos que tienen finalidades e intenciones vinculadas a un imperativo tecnológico que conmina al desarrollo de los medios tecnológicos y a apreciar los fines pragmáticos sobre otros fines vitales (Linares, 2008, p.382), y cuya integración debiera ser creciente y en mejora continua (Linares, 2008, p.397).

El manejo del agua de la ciudad, concebido como sistema tecnológico podría ser explicado desde dos posturas teóricas. La primera como macrosistema tecnológico que por un lado mediatiza la relación entre ciudad y naturaleza, y por otro se constituye en el medio en el que el individuo convive con los sistemas tecnológicos, utilizando el Ciclo Urbano del Agua -CUA- (Marsalek et al, 2008) que básicamente plantea la interacción entre lo hidrológico y la infraestructura hidráulica urbana de manera integrada; y la segunda desde la obtención de la máxima eficacia de los objetos y dispositivos técnicos en la vivienda, referida ésta al enfoque de ahorro de agua por su orientación al manejo de la demanda -Water Conservation- (Novotni et al, 2010), (Marsalek et al, 2008), que incluye la mejora en la eficiencia del uso del agua mediante dispositivos y la mejora de la eficiencia física de la red de distribución; el reuso de agua tratada y tecnificación de sistemas de riego; la sustitución de estrategias de manejo de paisaje y áreas verdes dando prioridad a las de menor demanda de agua; procesos industriales de menor demanda de agua y que preferentemente reutilicen agua tratada, en esencia es un enfoque de manejo centrado en el componente físico (Daigger, 2012) de la gestión del agua.

En ese sentido de la eficacia máxima, los enfoques anteriores se conceptualizarían desde su manejo como tecnologías ecológicamente racionales (Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1992), en términos de un macrosistema tecnológico cuyos fines pragmáticos son válidos siempre y cuando reconozcan e integren fines vitales relacionados con el concepto de sustentabilidad.

Por tanto, las tecnologías ecológicamente racionales deberían promover la gestión sustentable del agua en la ciudad; en ese sentido, Daigger (citado por Lucey et al, 2010) tres principios que identificarían la sustentabilidad en la gestión: económicamente, los organismos municipales operadores de agua deben ser financieramente estables, capaces de mantener la infraestructura hidráulica urbana, y de impactar en los análisis económicos del sistema, los recursos y la

energía que se consume por el uso del agua; ambientalmente el abastecimiento del agua debe ser localmente sustentable energéticamente neutro y de proveer flujos ambientales que restauren y/o preserven los cuerpos de agua de la ciudad; socialmente, deben proporcionar agua limpia y saneamiento adecuado para todos los habitantes, minimizando y adaptándose a los impactos del cambio climático global.

### **3. Construcción de la relación agua y energía en la vivienda de México: una aproximación conceptual.**

Existe un vínculo significativo entre agua y energía (Meda et al, 2012); un consumo energético para la producción y distribución del agua potable, así como para el tratamiento y reuso del agua residual, además de que el agua directamente o indirectamente es necesaria para la conversión de energía.

En México se tienen algunas experiencias aisladas en las cuales se vinculan el uso eficiente del agua con el consumo energético en usos urbanos, y específicamente relacionados con los usuarios domésticos (Izquierdo, 2003), (Watergy México, 2012) y a nivel federal el “Programa Específico para el Desarrollo Habitacional Sustentable ante el Cambio Climático” (Comisión Nacional de Vivienda, 2008).

Existen algunos parámetros de consumo energético asociados con la gestión del agua de la ciudad, Lazarova et al (2012) incorporan el concepto de **huella energética del agua**, esto a través de la definición de los kWh consumidos por metro cúbico de agua producidos por un proceso, ya sea de saneamiento, potabilización o conducción del agua. En México, CONAGUA (2009) propone el concepto de índice energético (IE) como componente de una estrategia de eficiencia energética para el sector. El IE es el cociente resultado de la división del total de los kilowatts – hora consumidos en un determinado año, entre el total del agua producida en las captaciones del sistema de abastecimiento. Por tanto, el IE,

El Índice Energético de Producción de Agua Potable (IEAP) se define como,

$$(1) IEAP = \frac{\text{Consumo energético por producción de agua potable en kWh/año}}{\text{total del agua producida en captaciones del sistema de abastecimiento en /año}}$$

El Índice Energético de Tratamiento de Aguas Residuales (IEAT) se define como,

$$(2) IEAT = \frac{\text{Consumo energético por saneamiento en un año en kWh/año}}{\text{total del volumen saneado de agua tratada /año}}$$

La Huella energética del agua residual por habitante de vivienda (HEARHV) se define como,

conceptualmente puede ser el insumo necesario para definir eventualmente la huella energética del agua en México.

### **4. Metodología.**

El modelo teórico descrito en los apartados anteriores se hace operativo y propone evidenciar la relación que guarda la huella energética del agua en la vivienda y el manejo sustentable del agua en la ciudad a través de las siguientes etapas generales:

1. Los resultados se obtienen mediante el desarrollo de tres sub-etapas:
  - a. Se contextualizó el manejo del agua en las ciudades estudiadas, mediante una primera tabla diagnóstica que sintetiza la interpretación de los datos estadísticos recopilados de informes especializados del sector, y que dan cuenta de aspectos económicos, sociales y ambientales de la gestión del agua, recuperando parcialmente los principios propuestos por Daigger para describir la gestión sustentable del agua en la ciudad.
  - b. Se propuso el diseño del indicador de huella energética del agua por vivienda promedio en cada ciudad estudiada, y se compara con dos indicadores referentes a nivel internacional, los que presenta el Estado de California y los de Alemania (Meda et al, 2012:22), refiriéndose primero al consumo energético típico por producción de agua potable y saneamiento en kWh/m<sup>3</sup> por ciudad, y el segundo término a el consumo energético típico por habitante en kWh/hab/año. Esto con el fin de calificar el nivel de consumo energético por ciudad y por habitante.

$$(3) \text{ HEARHV} = \text{IEAT} \times \frac{\text{Volumen anual de agua residual generada por vivienda en m}^3/\text{año}}{\text{Habitantes promedio por vivienda}}$$

La Huella energética del agua potable por habitante de vivienda (HEAPHV) se define como,

$$(4) \text{ HEAPHV} = \text{IEAP} \times \frac{\text{Volumen anual de agua potable consumida por vivienda en } \frac{\text{m}^3}{\text{año}}}{\text{Habitantes promedio por vivienda}}$$

- c. Se desarrolló un instrumento de calificación del manejo sustentable del agua en la ciudad, el índice energético por ciudad y de la huella energética del agua por vivienda, el cual permitirá relacionar a través de índices, incrementos promedio y relaciones porcentuales en el periodo y ciudades estudiadas, aspectos sociales tales como la eficiencia física promedio de la cobertura de agua potable y alcantarillado, y la eficiencia global del incremento en tomas domiciliarias; aspectos ambientales tales como la relación de caudal producido de agua potable y caudal tratado de agua residual; y por último aspectos económicos, como el porcentaje del déficit entre ingresos por servicio y gasto corriente, así como el incremento promedio de la tarifa por m<sup>3</sup> de agua. Se establecerán límites para asignar calificaciones, las cuales serán sujetas a una ponderación final que dará como resultado un nivel de manejo sustentable del agua en la ciudad, que puede ser bajo, medio o alto.
2. Por último, la discusión de los resultados se obtuvo mediante un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), con el cual se valoraron y relacionaron cualitativamente los resultados de las calificaciones del manejo sustentable del agua en las ciudades estudiadas con el nivel de consumo energético por ciudad y de la huella energética

del agua por vivienda, con el fin de identificar la posible existencia de relaciones sistémicas en términos de los mecanismos o conjunto de procesos (Bunge, 2004) sociales, económicos y ambientales que interactúan simultáneamente. Se consideró la circunstancia propia de cada ciudad como el nivel de análisis correspondiente de los factores internos; por otra parte, el análisis en conjunto de ciudades estudiadas será traducido como factores externos. Las relaciones identificadas que dieron lugar eventualmente a mecanismos y/o procesos serán representados mediante mapas conceptuales. Los mapas conceptuales de acuerdo a Novak & Gowin (citado en Álvarez-Gayou, 2003) identifican relaciones significativas entre conceptos en forma de proposiciones, las cuales pueden generar hipótesis para trabajos futuros, siendo además de utilidad en el desarrollo tanto de secuencias instruccionales, como de diagnósticos (Álvarez-Gayou, 2003).

### **5. Huella energética del agua aplicada a la vivienda y manejo sustentable del agua en las ciudades de Tamaulipas: resultados iniciales de su calificación.**

Como caso de estudio se tomó a cinco de los municipios más poblados del Estado de Tamaulipas y que representan de manera general a las regiones del estado (Roux, 2012), en este caso, Reynosa, Nuevo Ladero, Ciudad Victoria, Tampico, Altamira; adicionalmente se añade Ciudad Mante como ciudad candidata debido a que es la ciudad más importante de la región huasteca de Tamaulipas, esto con el fin de cubrir de la mejor manera todas las regiones geográficas del estado.

**Tabla 1.** Contexto general social y económico de la gestión del agua<sup>1</sup> y resultados del estimado de huella energética del agua por vivienda para ciudades de Tamaulipas en 2010<sup>2</sup>.

CONCEPTO			CIUDADES ESTUDIADAS					
			Ciudad Victoria.	Nuevo Laredo	Tampico	Altamira	Reynosa	Ciudad Mante
Contexto social	Cobertura de agua potable	2005	99%	98%	98%		93%	98%
		2010	100%	99%	98%	98%	99%	98%
	Cobertura de alcantarillado	2005	98%	91%	95%	85%	84%	88%
		2010	99%	94%	95%	93%	84%	88%
Eficiencia física	2005	SIN DATO	50%	52%	SIN DATO	62%	61%	
	2010	SIN DATO	40%	53%	SIN DATO	58%	63%	
Contexto económico	Déficit de ingresos por servicios y egresos de gasto corriente	2005	67%	40.80%	444%	SIN DATO	24%	189%
		2010	56%	100.70%	41%	35.70%	96%	17%
	Porcentaje de aumento de tarifa por m <sup>3</sup>	2005-2010	9.90%	-39%	64%	SIN DATO	-29%	62%
Índice Energético de Producción de Agua Potable.	Energía total consumida kWh/año		33,589,645	26,805,374	29,944,659	31,784,056	5,885,175	2,790,544
	Volumen total de agua producida en captaciones m <sup>3</sup> /año		69,379,200	91,454,400	40,638,078	38,090,232	11,907,037	11,596,707
	IE kWh/m <sup>3</sup>		<b>0.48</b>	<b>0.29</b>	<b>0.74</b>	<b>0.83</b>	<b>0.49</b>	<b>0.24</b>
Índice Energético de Tratamiento de Aguas Residuales.	Energía total consumida kWh/año		7,967,688	7,383,955	14,253,859	2,541,281	84,280	66,247
	Volumen total de agua tratada m <sup>3</sup> /año		36,518,688	23,652,000	38,448,060	3,512,480	583,416	283,509
	IE kWh/m <sup>3</sup>		<b>0.22</b>	<b>0.31</b>	<b>0.37</b>	<b>0.72</b>	<b>0.14</b>	<b>0.23</b>
Huella Energética del agua en la vivienda	Estimado Huella energética del agua potable por vivienda. kWh/año		223.37	215.68	351.15	504.37	187.62	99.42
	Estimado Huella energética del agua residual por vivienda. kWh/año		80.53	183.78	176.67	349.85	43.87	77.24
Estimado Huella energética del agua por vivienda. kWh/año			<b>303.89</b>	<b>399.45</b>	<b>527.82</b>	<b>854.22</b>	<b>231.49</b>	<b>176.66</b>

<sup>1</sup> Se tomó para las ciudades estudiadas de la Situación del Subsector de Agua, Potable, Alcantarillado y Saneamiento de los años 2006 y 2011, ya que informan del año anterior inmediato, además del sistema de información habilitado por el IMTA en el sitio web <http://www.pigoo.gob.mx> en el menú de indicadores de gestión, para los años 2005 y 2010. Dos criterios guiaron la elección de dicho periodo, primero la coincidencia con los datos del Censo de Población 2005 y del Censo de Población y Vivienda INEGI 2010; segundo la disponibilidad de información, debido a que en algunos casos solo hay información disponible hasta el 2003.

<sup>2</sup> La información de consumo energético se tomó para las ciudades estudiadas de la Información Básica de los Organismos Operadores Prestadores de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Localidades mayores de 10,000 habitantes. Periodo del 01 de enero al 31 de diciembre de 2010, y se considera el 2010 como año de referencia, debido a que es el primer año en que se incluye la información de consumo energético, además de coincidir con los datos del Censo de Población y Vivienda INEGI 2010.

Tabla 2. Resultados del instrumento de calificación de la esfera social, económica y ambiental.

VARIABLES		CIUDADES ESTUDIADAS						Observaciones	
		Ciudad Victoria	Nuevo Laredo	Tampico	Altamira	Reynosa	Ciudad Mante		
ESFERA SOCIAL	Cobertura media efectiva de agua potable. 2005-2010	SIN DATO	44%	51%	79%	58%	61%	Calificación va de 0 a 50 bajo, de 51 a 80 medio y de 81 a 100 alto. En determinación del porcentaje de crecimiento efectivo de tomas domiciliarias, el incremento porcentual se determina por valor de la eficacia global, incrementos efectivos entre 0 y 50% se consideran bajos, entre 51 y 80% son medios y de 81 a 100% son altos.	
	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>SIN DATO</b>	<b>bajo</b>	<b>medio</b>	<b>medio</b>	<b>medio</b>	<b>medio</b>		
	Cobertura media de alcantarillado 2005-2010	99%	93%	95%	89%	84%	88%		
	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>alto</b>	<b>alto</b>	<b>alto</b>	<b>alto</b>	<b>alto</b>	<b>alto</b>		
	Crecimiento efectivo de las tomas domiciliarias para usuarios domésticos. 2005-2010	5%	11%	4%	20%	10%	28%		
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>medio</b>	<b>bajo</b>	<b>bajo</b>	<b>bajo</b>	<b>bajo</b>	<b>medio</b>			
ESFERA ECONÓMICA	Media del deficit de ingresos por servicios y egresos de gasto corriente 2005-2010	62%	71%	243%	SIN DATO	60%	103%	Los criterios para establecer los rangos de calificación van de 0 a 50 bajo, de 51 a 80 medio y de 81 a 100 alto.	
	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>medio</b>	<b>medio</b>	<b>alto</b>	<b>SIN DATO</b>	<b>medio</b>	<b>alto</b>		
	Porcentaje de aumento de tarifa por m <sup>3</sup> 2005-2010	9.90%	-39%	64%	SIN DATO	-29%	62%		
	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>bajo</b>	<b>negativo</b>	<b>medio</b>	<b>SIN DATO</b>	<b>negativo</b>	<b>medio</b>		
ESFERA AMBIENTAL	Porcentaje de caudal producido de agua potable respecto a caudal tratado de aguas residuales 2010	40.48%	56.17%	7.59%	70.32%	54.55%	2.86%	El criterio de calificación 0 a 50 bajo, de 51 a 80 medio y de 81 a 100 alto en la relación porcentaje de caudal producido de agua potable vs caudal tratado de aguas residuales. Calificación de todos activados alto, laguna de estabilización y de filtros biológicos bajo y la descarga directa nulo; los procesos de potabilización son medio los tres. Calificación final es una ponderación que se calcula sumando por cada ciudad las relaciones directas de potabilización, 50 bajo, de 51 a 80 medio y de 81 a 100 alto dependiente del consumo energético de cada proceso.	
	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>bajo</b>	<b>medio</b>	<b>bajo</b>	<b>medio</b>	<b>medio</b>	<b>bajo</b>		
	Porcentaje de volumen de agua potabilizado por tipo de proceso respecto a su valor energético.	Filtración directa	100%				6%		
		Clarificación convencional		100%	100%	100%	92%		98%
		Clarificación de patente					1.64%		2.48%
	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>3 medio</b>	<b>3 medio</b>	<b>3 medio</b>	<b>3 medio</b>	<b>3 medio</b>	<b>3 medio</b>		
	Porcentaje de volumen tratado de agua residual por tipo de proceso respecto a su valor energético.	Laguna de estabilización u oxidación	86%	100%	100%	90%	43%		34%
Lodos activados		14%			5%	57%			
Biológico					5%				
Primario/ descarga directa							96%		
<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>1.27 bajo</b>	<b>1 bajo</b>	<b>1 bajo</b>	<b>3.95 medio</b>	<b>3.29 medio</b>	<b>0.34 nulo</b>			

**Tabla 3.** Resultados del instrumento de calificación del Índice Energético de Producción de Agua Potable y del Índice Energético de Tratamiento de Aguas Residuales.

CIUDADES ESTUDIADAS	Índice Energético de Tratamiento de Aguas Residuales.	Comparativa con rango típico de consumo energético en el sector municipal para saneamiento de agua en Alemania (Meda et al, 2012:22).	Comparativo con rango típico de consumo energético en el sector municipal para saneamiento de agua en California E.E.U.U. (Meda et al, 2012:22).	Índice Energético de Producción de Agua Potable.	Comparativa con rango típico de consumo energético en el sector municipal para agua potable en Alemania (Meda et al, 2012:22).	Comparativa con rango típico de consumo energético en el sector municipal para agua potable en California E.E.U.U. (Meda et al, 2012:22).
	IEAT kWh/m <sup>3</sup>	0.39-0.83 kWh/m <sup>3</sup>	0.29-1.22 kWh/m <sup>3</sup>	IEAP kWh/m <sup>3</sup>	0.15-1.71 kWh/m <sup>3</sup>	0.21-5.61 kWh/m <sup>3</sup>
Reynosa	0.22	bajo	bajo	0.48	medio	medio
Tampico	0.31	bajo	medio	0.29	medio	medio
Nuevo Laredo	0.37	bajo	medio	0.74	medio	medio
Ciudad Victoria	0.72	medio	medio	0.83	medio	medio
Altamira	0.14	bajo	bajo	0.49	medio	medio
Ciudad Mante	0.23	bajo	bajo	0.24	medio	medio
Nota: El criterio de calificación media se toma siempre y cuando el IEAT coincida con el rango internacional, por lo que cualquier valor menor al rango será bajo y si es mayor será alto.				Nota El criterio de calificación media se toma siempre y cuando el IEAP coincida con el rango internacional, por lo que cualquier valor menor al rango será bajo y si es mayor será alto.		

**6. Relaciones sistémicas entre la Huella energética del agua aplicada a la vivienda y el manejo sustentable del agua en ciudades de Tamaulipas: discusión y primera identificación de hipótesis de trabajo futuras.**

Los principales resultados se resumen en las tablas 2, 3 y 4, a partir de estos, las fortalezas evidenciaron una cobertura de drenaje alta, predominaron procesos de potabilización y saneamiento con consumo energético medio con un IEAP y IEAT bajo a medio; hubo un ajuste de estructura tarifaria más cercano a gasto real en algunos casos. Las debilidades demostraron una situación financiera deficitaria en un grado de medio a alto con un impacto limitado de las tarifas por m<sup>3</sup> en la disminución del déficit financiero; una cobertura ineficiente agua potable a nivel urbano, con una huella energética del agua potable de alta a muy alta en la vivienda y con un crecimiento de tomas domiciliarias. Los caudales de agua tratada en general son bajos, y se observa por lo tanto, una Huella

energética de agua residual y un IEAT de niveles bajos a medios, no obstante, predominan procesos de saneamiento de bajo consumo energético.

Las principales oportunidades que se dedujeron fue la necesidad de inversión solidaria para la disminución de Índices y Huellas Energéticas generadas por la vivienda, con una participación significativa de Desarrolladores de Vivienda y Organismos Nacionales y Estatal de Vivienda, alrededor de una estrategia tecnológica de máxima eficacia de ahorro de agua orientada desde la demanda para la vivienda a nivel local; reforzada por el concurso de los Gobiernos estatal y federal, específicamente del sector del agua, que contribuya con asistencia técnica y apoyo financiero, así como con políticas e instrumentos que promuevan el fortalecimiento tecnológico, institucional y financiero de los Organismos Operadores. Desde la perspectiva tecno-

**Tabla 4.** Resultados del instrumento de calificación del Estimado Huella energética del agua potable por habitante de vivienda y del Estimado Huella energética del agua residual por habitante de vivienda.

	Estimado Huella energética del agua potable por habitante de vivienda. kWh/persona/año	Relación proporcional de huella energética vs indicador internacional de 22 kWh por habitante anualizado en sector municipal de Alemania	CALIFICACIÓN	Valor típico de consumo energético en kWh por habitante anualizado en el sector municipal en Alemania para abastecimiento de agua potable .	Estimado Huella energética del agua residual por habitante de vivienda. kWh/persona/año	Relación proporcional de huella energética vs indicador internacional de 35 kWh por habitante anualizado en el sector municipal de Alemania	CALIFICACIÓN
<b>Reynosa</b>	55.84	2.54	Muy alto	22	20.13	0.58	bajo
<b>Tampico</b>	53.92	2.45	Muy alto	Valor típico de consumo energético en kWh por habitante anualizado en el sector municipal en Alemania para saneamiento	45.94	1.31	alto
<b>Nuevo Laredo</b>	87.79	3.99	Muy alto		44.17	1.26	alto
<b>Ciudad Victoria</b>	126.09	5.73	Muy alto		87.46	2.5	Muy alto
<b>Altamira</b>	46.91	2.13	Muy alto		10.97	0.31	bajo
<b>Ciudad Mante</b>	24.86	1.13	medio	35	19.31	0.55	bajo

**Nota:** La comparativa de los resultados del consumo energético por habitante anualizado por vivienda de Agua Potable con los valores de consumo típico de energía para abastecimiento y distribución en el sector municipal disponible de Alemania, con el fin de establecer la relación proporcional entre ambos indicadores, la relación proporcional cuando su rango este entre 0 y .90 se considera como bajo, .91 y 1.10 es medio, 1.11 a 2 es alto, y de 2.1 en adelante muy alto.

lógica, la disminución de Índices y Huellas Energéticas generadas por la vivienda fue una oportunidad para la gestión social de la tecnología del agua a nivel local en la vivienda, promoviendo el desarrollo de procesos de gobernanza local del agua, que faciliten la inclusión de habitantes en toma de decisiones para la elección, inversión, operación y mantenimiento de los dispositivos tecnológicos. La estrategia de gestión tecnológica podría orientarse a un enfoque metabólico vinculando la tipología y morfología urbana de la vivienda, con el manejo local del saneamiento y aumento de oferta hídrica, permitiendo que las instalaciones hidrosanitarias y la infraestructura hidráulica reconfiguren la morfología urbana y las tipologías al centrarse en el manejo eficiente del agua y la energía, transformando dicho binomio en un asunto que se gestione socialmente, de manera descentralizada, y que sea sensible al contexto

del territorio en el que se emplaza la vivienda.

Las amenazas que se detectaron fueron el aumento probable de conflictos sociales por las ineficiencias en la cobertura, el incremento de usuarios domésticos y aumentos mínimos o nulos de la oferta hídrica; situación financiera deficitaria crónica, la limitada inversión en la mejora de sus sistemas tecnológicos y gasto de mantenimiento, además de un impacto limitado de estructura tarifaria y una dependencia total de macrosistemas tecnológicos centralizados. Los procesos de saneamiento mecanizados de alto consumo energético y abastecimiento de agua enfocado a la oferta, fomentarían el aumento de los Índices y Huellas Energéticas generadas por la vivienda, una síntesis de las relaciones identificadas por el FODA se observa en la figura 1.



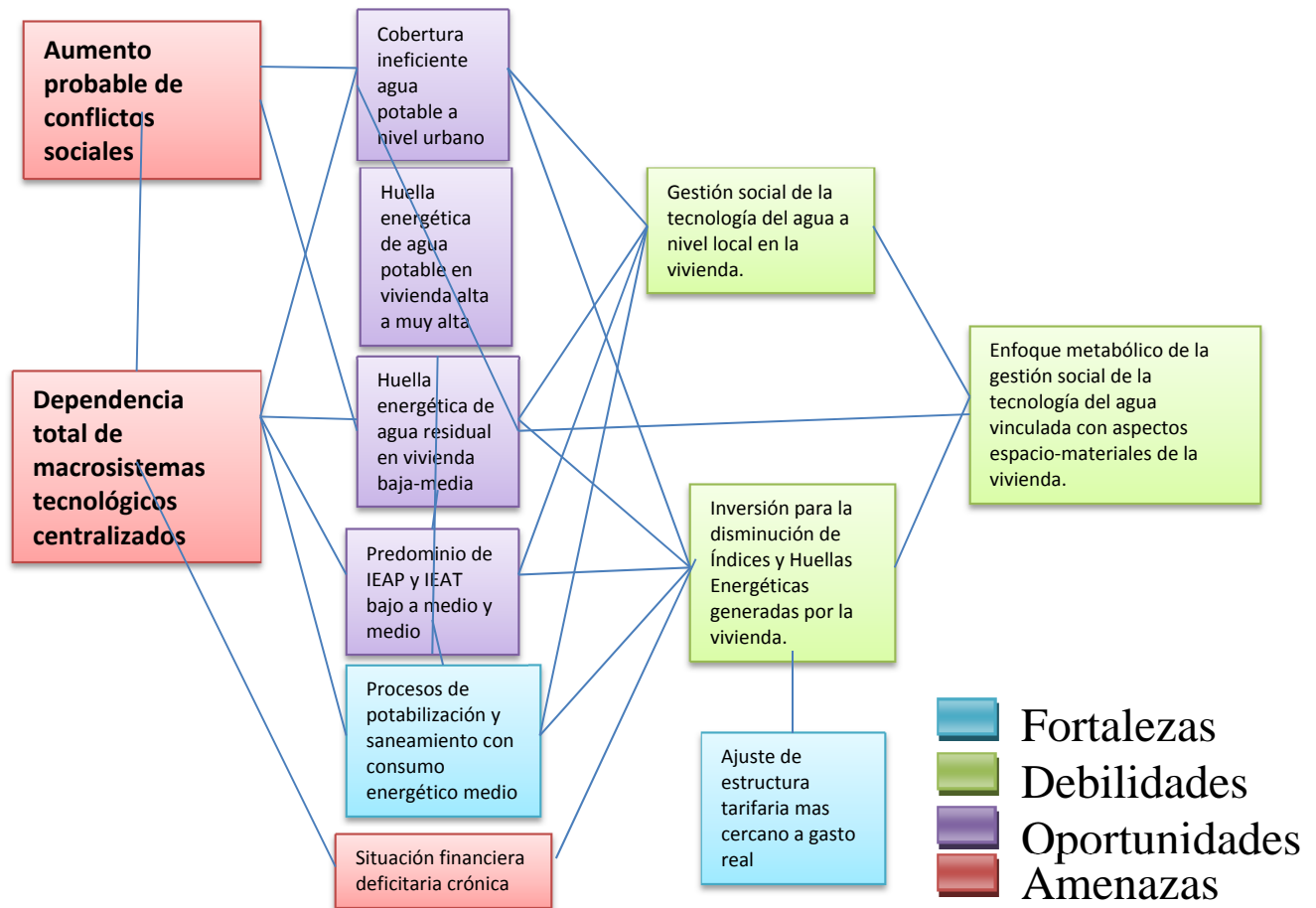


Figura 1. Mapa conceptual de los mecanismos y procesos generales identificados para las ciudades estudiadas a partir del análisis FODA.

### 7. Conclusiones.

Una primera aportación teórico-metodológica del presente trabajo es la manera en que se ha estructurado teóricamente para vincular conceptos tales como macrosistema tecnológico, máxima eficacia tecnológica, tecnología ecológicamente racional, vivienda, manejo sustentable del agua en la ciudad, y huella energética del agua. Las modalidades de mediación que puede ejercer la tecnología entre la naturaleza y el sujeto y este a su vez con la tecnología, se explican mediante el concepto de Ciclo Urbano del Agua que permite interpretar como la infraestructura hidráulica urbana interactúa con el ciclo hidrológico a nivel sistémico y el manejo de máxima eficacia de los componentes físicos se relaciona con el ahorro del agua, ambos enfoques responderían a principios de gestión sustentable vinculados con los propuestos por Daigger.

El planteamiento metodológico tomó como elemento integrador a la huella energética del agua, tanto a nivel urbano, como a nivel de la vivienda, para mediante su comparación con parámetros

internacionales, reinterpretar cualitativamente la información cuantitativa procesada de gestión sustentable del agua correspondiente a las ciudades estudiadas, generando en dicho proceso hipótesis de trabajo para futuros trabajos de investigación. Así mismo, la metodología permitió por un lado identificar la necesidad de mejorar las bases de datos respecto a la información procesada, en términos de su disponibilidad y confiabilidad; por otro lado develó la exigencia de generar parámetros de referencia nacional en cuanto a los valores típicos de consumo energético a nivel municipal, tanto para la producción de agua potable como para el agua residual tratada, con el fin de identificar eventualmente las huellas energéticas del agua en la vivienda por ciudad y estado, de tal forma que se tenga un indicador de eficiencia que permita la toma de decisiones asociadas con el consumo energético por el aumento o disminución de la eficiencia del componente físico de manejo del agua en la vivienda.

Las Huellas Energéticas y los Índices Energéticos tienen relaciones de dependencia aparentemente

directa con la centralización del macrosistema tecnológico y con el consumo energético derivado del tipo de proceso de potabilización y/o saneamiento, desde una perspectiva cuantitativa, la huella energética del agua potable y la huella energética del agua residual medias de las ciudades estudiadas son de 65.9 kWh/persona/año y 37.9 kWh/persona/año respectivamente, siendo una casi tres veces superior y la otra similar al referente internacional. No obstante, la huella energética del agua residual coincide con un predominio de procesos de saneamiento de bajo consumo energético, lo cual abre la posibilidad de futuras indagaciones de mayor profundidad en la forma en que se gestiona energéticamente de manera particular, el saneamiento en las ciudades estudiadas. La disminución de las huellas energéticas podría pasar por un lado, por la búsqueda de alternativas

para superar la situación financiera deficitaria crónica de los Organismos Operadores del Agua municipales que virtualmente impide una inversión significativa para la conversión tecnológica, y por otro por procesos de gestión social de la tecnología del agua a nivel local, que incluyan la inversión solidaria de otros actores relacionados con el sector de vivienda orientada a un enfoque metabólico de la tecnología del agua en términos de tipologías y morfologías urbanas que incluyan paquetes tecnológicos ecológicamente racionales, de multifuncionalidad práctica, redundantes, modulares, con metas de desempeño urbano-ambiental orientadas a servicios ambientales, y que valoren las condiciones sociales, ambientales y económicas particulares de cada contexto urbano, reconociendo sus vínculos entre diferentes escalas y estructuras urbano-ambientales.

#### **8. Referencias bibliográficas.**

Álvarez-Gayou, J. L. (2003). "Como hacer investigación cualitativa. Fundamentos y metodología". Editorial Paidós Mexicana S.A. México D.F.

Bunge, M. (2004). "Emergencia y convergencia. Novedad cualitativa y unidad del conocimiento". Editorial Gedisa S.A. Barcelona, España.

Comisión Nacional del Agua. (2006). "Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento". Comisión Nacional del Agua, México. Recuperado el 1 abril de 2012 desde: [http://www.pigoo.gob.mx/images/info\\_externa/conagua/2006/Subsector2006.pdf](http://www.pigoo.gob.mx/images/info_externa/conagua/2006/Subsector2006.pdf)

Comisión Nacional del Agua. (2009). "Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario". Comisión Nacional del Agua, México.

Comisión Nacional del Agua. (2009). "Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable". Comisión Nacional del Agua, México.

Comisión Nacional del Agua. (2011). "Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento". Comisión Nacional del Agua, México. Recuperado el 1 abril de 2012 desde: [http://www.pigoo.gob.mx/images/info\\_externa/conagua/2011/Subsector2011.pdf](http://www.pigoo.gob.mx/images/info_externa/conagua/2011/Subsector2011.pdf)

Comisión Nacional del Agua. (2011). "DSAPAS2010-Anexos1-8valores.xlsb. Anexos de Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento". Archivo de Microsoft Excel. Comisión Nacional del Agua, México. Recuperado el 1 abril de 2012 desde: [http://www.pigoo.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=616&Itemid=1209](http://www.pigoo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=616&Itemid=1209)

Comisión Nacional del Agua. (2011). "Información Básica de los Organismos Operadores Prestadores de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Localidades mayores de 10,000 habitantes. Periodo del 01 de enero al 31 de diciembre de 2010. Tampico Tamaulipas". Archivo Word. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, México.

Comisión Nacional del Agua. (2011). "Información Básica de los Organismos Operadores Prestadores de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Localidades mayores de 10,000 habitantes. Periodo del 01 de enero al 31 de diciembre de 2010. Reynosa Tamaulipas". Archivo PDF. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, México.

Comisión Nacional del Agua. (2011). "Información Básica de los Organismos Operadores Prestadores de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Localidades mayores de 10,000 habitantes. Periodo del 01

de enero al 31 de diciembre de 2010. Altamira Tamaulipas”. Archivo PDF. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, México.

Comisión Nacional del Agua. (2011). “Información Básica de los Organismos Operadores Prestadores de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Localidades mayores de 10,000 habitantes. Periodo del 01 de enero al 31 de diciembre de 2010. Nuevo Laredo Tamaulipas”. Archivo PDF. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, México.

Comisión Nacional del Agua. (2011). “Información Básica de los Organismos Operadores Prestadores de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Localidades mayores de 10,000 habitantes. Periodo del 01 de enero al 31 de diciembre de 2010. Ciudad Victoria Tamaulipas”. Archivo PDF. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, México.

Comisión Nacional del Agua. (2011). “Información Básica de los Organismos Operadores Prestadores de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Localidades mayores de 10,000 habitantes. Periodo del 01 de enero al 31 de diciembre de 2010. Ciudad Mante Tamaulipas”. Archivo PDF. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, México.

Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1992). “Programa 21”. Organización de las Naciones Unidas, División de Desarrollo Sostenible, Nueva York. Recuperado el 30 de junio de 2012 en: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/index.htm>

Daigger, G.T. (2012). Designing and implementing urban water and resource management systems wich recover water, energy, and nutrients. En Lazarova, V. Choo, K. Cornel, P. (Editores). “Water-Energy Interactions in Water Reuse”. (Pp. 3-19). IWA Publishing, London UK.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2011). “Principales Resultados del Censo de Población y Vivienda 2010 en Tamaulipas”. Archivo PDF. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. Recuperado el 30 de mayo de 2012 en: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/princi\\_result/tamp/s/28\\_principales\\_resultados\\_cpv2010-2.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/princi_result/tamp/s/28_principales_resultados_cpv2010-2.pdf)

Comisión Nacional de Vivienda. (2008). “Programa Específico para el Desarrollo Habitacional Sustentable ante el Cambio Climático”. México: Comisión Nacional de Vivienda.

Izquierdo, C. (2003). Tecnologías de Bajo Consumo en Usuarios Domésticos y Comerciales. Estado del Arte y Ejemplo de Caso Exitoso en México. En “Primer Seminario Nacional de Uso Eficiente de Energía y Agua en Organismos Operadores”. Boca del Río, Veracruz, Watergy México.

Lazarova, V. Choo, K. Cornell, P. (2012). Meeting the challenges of the water-energy nexus: the role of reuse and wastewater treatment. “Water 21”. Pp. 12-17.

Linares, J. E. (2008). “Ética y mundo tecnológico”. Fondo de Cultura Económica y Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Lucey, W.P. et al, (2010). Planning and management of sustainable future communities. En Novotny, V. Ahern, J. Brown, P. (Editores). “Water Centric Sustainable Communities, planning, retrofitting, and building the next urban environment”. (Pp. 482-538). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Marsalek, J. et al. (2008). “Urban water cycle processes and interactions”. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and Taylor & Francis, Paris, France.

Meda, A. et al, (2012). Energy and water: relations and recovery potential. . En Lazarova, V. Choo, K. Cornel, P. (Editores). “Water-Energy Interactions in Water Reuse”. (Pp. 21-35). IWA Publishing, London UK.

Novotny, V. Ahern, J. Brown, P. (2010). Water demand and conservation. En Novotny, V. Ahern, J. Brown, P. (Editores). “Water Centric Sustainable Communities, planning, retrofitting, and building the next urban

environment”. (Pp. 228-271). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Roux, R. S. et al. (2012). “Diagnóstico del Código de Costo Energético de la Vivienda en Tamaulipas”. Informe Técnico. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Gobierno del Estado de Tamaulipas y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Tampico, Tamaulipas.

Torregrosa, M. L. et al. (2012). Los recursos hídricos en México. Situación y perspectivas. En Jiménez Cisneros, B. Galizia Tundisi, J. (Coordinadores). “Diagnóstico del Agua en las Américas”. (Pp.309-357). Red Interamericana de Academias de Ciencias y Foro Consultivo Científico y Tecnológico A.C., México.

Watergy México. (2012). Sitio web de Watergy Mexico. Recuperado el 29 de junio de 2012 en: <http://www.watergymex.org/index.htm>

---

Este documento debe citarse como: Córdova-Canela, F. (2012). **Huella energética del agua y manejo sustentable urbano del agua: diagnóstico estratégico aplicado a la vivienda de Tamaulipas**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 16-3, pp 195-206, ISSN 1665-529-X.