

Un modelo econométrico sobre el consumo de agua en el estado de Guanajuato

Eugenio Guzmán Soria
Eguso009@hotmail.com
Instituto Tecnológico de Celaya

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

En los últimos años el problema de la sobreexplotación de los recursos naturales y la necesidad inaplazable de proteger el medio ambiente ante el incremento de los niveles de contaminación, han adquirido relevancia internacional, inducidos por la creciente evidencia de su carácter irreversible.

El rápido crecimiento de la población humana en los últimos años ha sido el factor más importante que ha incrementado la demanda de agua dulce en el planeta. Este factor también ha hecho más aguda la competencia entre los usos agrícola, industrial y urbano. El uso de agua en la agricultura se ha incrementado progresivamente para satisfacer la demanda creciente de alimentos, esto es consecuencia directa del crecimiento de la población humana, la cual ha sobrepasado los 5 mil millones de personas. El consumo de agua en agricultura ha aumentado en casi un 60% desde los años 50's. La agricultura de riego produce cerca del 40% de la producción mundial de alimentos inutiliza el 17% de la superficie mundial cultivada. Dados los enormes volúmenes de agua requeridos en la producción agrícola, este sector consumen la mayor parte de los recursos. La agricultura de regadío representa el 70% el consumo de agua escala mundial, y el 87% se refiere a usos consuntivos (Sumpsi et al., 1998; United Nations, 1997).

Pero la población humana no sólo demanda alimentos, también consume agua para satisfacer necesidades físicas personales (alimentación e higiene) y demanda productos industriales, que requieren, a su vez, del uso de agua. Cuando la reserva disponible de agua no permite satisfacer todas las necesidades sociales y requerimientos ambientales existe escasez de agua, se producen situaciones de competencia entre usuarios. Las situaciones de escasez ocurrirán en regiones con

baja disponibilidad de recursos hídricos o con rápido crecimiento de la población y se verán acentuados cuando consumo per cápita sea creciente debido a los cambios en las pautas de consumo (Falkenmark, 1989).

Debido a la irregularidad con que se distribuyen los recursos hídricos disponibles, los problemas escasez de agua suelen manifestarse en el ámbito regional. Con relativa frecuencia la falta de agua afecta a determinadas cuencas hidrográficas en el mundo. Debido a los enormes volúmenes necesarios, la gestión del recurso también se realiza de manera preferentemente a escala local o regional. Por este motivo, la creciente dificultad para garantizar la satisfacción de las demandas se traduce en una mayor competencia entre los usuarios tradicionales -agricultura, industria y ciudades- por los escasos recursos disponibles. Esta mayor competencia entre la agricultura, la industria y las ciudades por los limitados recursos de agua ya está restringiendo las actividades de desarrollo en muchos países; y a medida que las poblaciones y las economías crezcan, la competencia por éste recurso escaso se intensificará (FAO, 1993).

El problema de la disponibilidad efectiva del agua es aun mayor por los desequilibrios hidráulicos que ocasiona el constante crecimiento de la demanda, la ineficiencia de su uso y el aumento de los niveles de contaminación ocasionados por prácticas inadecuadas en esquemas de producción y consumo.

En resumen, todo lo anterior ha llevado a los especialistas en el tema a denominar, actualmente, al agua como uno de los bienes estratégicos de las naciones, sobre el cual alrededor del mundo los gobiernos están desarrollando estudios e investigaciones de corto y largo plazo que les permitan establecer programas y políticas que garanticen la sustentabilidad de su recurso hídrico y de esta manera se asegure la calidad y disponibilidad de agua para las generaciones futuras.

México no es ajeno al problema de la competencia de agua entre los diferentes usuarios, los problemas más graves los enfrentan los Estados del norte del país. Resalta en la actualidad la grave situación que enfrenta la Comarca Lagunera (región integrada por 15 municipios de los Estados de Coahuila y Durango). La situación actual de escasez de agua en la región ha dado lugar a una mayor competencia por el uso de los recursos hídricos dificultando la gestión eficiente de los mismos. Es tanta la escasez del recurso en esa región del país, que ya está limitando las actividades de desarrollo de la misma (Guzmán, 2005).

En términos generales, la competencia por el uso del agua entre los diferentes sectores consumidores de cualquier región es determinada por la existencia de diferentes tipos de consumidores (usuarios) y por la baja y casi constante disponibilidad del recurso en la zona. Por el lado del consumo se pueden ubicar los

siguientes tipos de demanda: 1) la demanda ejercida por ciudades, pueblos y pequeñas poblaciones destinada a consumo de agua por la población humana; 2) la demanda ejercida por la industria, quién usa el agua como insumo en sus procesos de producción; 3) la demanda ejercida por la producción pecuaria, quién usa el vital líquido como insumo en las granjas para la obtención de productos de origen ganadero como la leche, la carne y el huevo y; 4) la demanda del sector agrícola, que se refiere al uso del agua como insumo en la producción de productos agrícolas.

Con base en la clasificación hecha por la Comisión Nacional del Agua (CNA), la mayor parte del territorio del Estado de Guanajuato pertenece a la región hidrológico-administrativa Lerma-Santiago-Pacífico, la cual durante el 2003 fue calificada con un grado de presión¹ media-fuerte sobre el recurso hídrico (32%, mayor a 40% es ya calificado como fuerte presión) y ocupó el segundo lugar como la región hidrológico-administrativa con mayor densidad de población -106 hab/km²- (SEMARNAT-CNA, 2004).

La demanda de agua para uso urbano en Guanajuato proviene fundamentalmente del crecimiento de la población urbana en las ciudades grandes y medias del Estado (la tasa de crecimiento media anual -TCMA- de la población urbana fue de 1.31% durante el periodo de 1995-2000), esto ha provocado que durante los últimos años se haya presentado un aumento en las tomas domiciliarias en las principales ciudades del Estado. El Consejo Nacional de Población estima que para el año 2010 el 71% de la población del Estado será urbana (CONAPO, 2005)

El crecimiento de la producción industrial, ubicado en los parques industriales de las ciudades, ha determinado un crecimiento en la cantidad consumida de agua para su uso en diversos procesos industriales. Como dato de esto, la TCMA registrada por el Producto Interno Bruto (PIB) generado por el sector industrial del Estado durante el periodo de 1993 a 2003 fue de 7.71% (INEGI-BIE, 2005).

La importancia de la ganadería en el Estado queda reflejada en las TCMA's mostradas por el inventario de las especies: bovino para leche (2.53%), ave para carne (6.64%), ave para huevo (3%), ovino (1.34%), bovino para carne (1.56%) y porcino (1.31%) durante el periodo de 1995 a 2002; esto llevo a que durante 2002 Michoacán representará del inventario nacional 6.97% del bovino para leche, 6.29% del ave para carne, 4.74% del ave para huevo, 4.22% del ovino, 2.4% del bovino para carne, 6.42% del porcino y no obstante que el dinamismo del ganado caprino del Estado decayó durante el periodo citado, registrando una TCMA de -1.31%; representó un 5% del inventario caprino nacional durante 2002. Lo que pone de manifiesto la importancia de este tipo de consumidor de agua en el Estado (SAGARPA-SIAP, 2005).

El mayor consumidor de agua por excelencia es el sector agrícola, la superficie sembrada del Estado bajo riego ascendía en 1995 a 493,720 hectáreas y en tan sólo ocho años alcanzó las 556,551 hectáreas en 2003, es decir se sumaron a las existentes en 1995 nada menos que 62,820 hectáreas. El principal cultivo sembrado bajo riego en el Estado durante el 2003 fue el sorgo grano (161,984 has), seguido de la cebada (91,205 has), alfalfa verde (58,953 has), maíz grano -blanco- (69,446 has) y en quinto lugar el trigo grano suave (45,021 has) (Ibid).

Los cultivos que más incrementaron su superficie sembrada durante el periodo de 1995 a 2003 son: el agave tequilero, el trébol y el cilantro; los cuales registraron una TCMA de 64.13, 32.61 y 26.8%, respectivamente (ver Cuadro 2). Esto pone de manifiesto la importancia del sector agrícola como consumidor de agua en el Estado.

El Producto Interno Bruto generado por el sector agropecuario estatal ha mantenido un crecimiento constante durante el periodo de 1993 a 2003, registrando una TCMA de 0.77%.

El crecimiento de la población humana en los núcleos urbanos, el elevado crecimiento de la producción industrial, así como la existencia de un creciente sector pecuario ha determinado, ante una disposición de agua casi constante, la contracción de agua disponible para cada sector demandante.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema del agua se agudiza debido a cuestiones de baja eficiencia en el uso del recurso. Por lo general, los volúmenes de agua que se aplican a los cultivos exceden a sus requerimientos. Entre los cultivos de más baja eficiencia se encuentra la alfalfa, uno de los insumos importantes para la producción pecuaria del Estado. De acuerdo a investigaciones agronómicas, el volumen de agua que se aplica a este cultivo es de 2,919 mm, cuando sólo necesita 1,850 mm para cumplir con un ciclo anual de producción. Con el volumen de agua requerido, la alfalfa alcanza una eficiencia del 100%, produciendo 1.5 kilogramos en materia seca por metro cúbico (m³) de agua; en cambio, con el volumen que se aplica la eficiencia es de 50% y sólo se alcanzan a producir 0.5 kilogramos de materia seca por m³ de agua. Estos resultados, en promedio, los vemos a nivel de parcelas regadas por gravedad (Levine et al., 1998). Si se toma en cuenta los altos costos de energía, el aumento en el mantenimiento de los pozos, la escasez en las presas, las bajas precipitaciones de los últimos años, esta eficiencia debería ser mayor.

Es importante mencionar, finalmente, que los cambios climáticos registrados en el Estado durante los últimos años, se han reflejado en periodos de sequías más

prolongados y periodos de lluvias más cortos, lo que conlleva a una disminución en el nivel de recarga de los acuíferos y a una reducción importante en el nivel de las presas y los ríos, si a lo anterior se le suma la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por los diferentes sectores productivos y la población humana, se visualiza una problemática importante asociada a la situación de los recursos hídrico en el Estado de Guanajuato para el mediano y largo plazo, que podría ser tan grave como la registrada actualmente en otras regiones del país, como la Comarca Lagunera.

El panorama expuesto pone en evidencia una fuerte necesidad de poner en marcha a la brevedad posible todo un programa estatal que resuelva el problema actual de uso ineficiente y de contaminación que enfrenta el agua en el Estado y prevenga a futuro el problema tan crítico de escasez de agua que sufren actualmente otras regiones del país. Tan probable es que el problema se agudice en un futuro debido al acelerado crecimiento del sector urbano e industrial que el Gobierno del Estado enfrentaría un conflicto entre los diferentes sectores consumidores del agua. Tal situación, que podría obstaculizar el crecimiento económico del Estado, demanda urgentemente alternativas de solución. Dichas alternativas se pueden dar a través de recomendaciones de política que contribuyan a hacer más eficiente la distribución del agua entre los diferentes consumidores del vital líquido.

MARCO TEÓRICO

Para determinar los factores que afectan el consumo de agua se calcularán elasticidades que miden la relación entre la demanda y dichos factores. Las elasticidades serán calculadas con un modelo de ecuaciones simultáneas del consumo de agua compuesto por cinco ecuaciones de demanda y seis identidades. Una ecuación referida a cada uno de los sectores consumidores a analizar (urbano, industrial, pecuario y agrícola, este último diferenciando entre el consumo por la superficie irrigada por bombeo y por gravedad). Las identidades serán referidas como sigue: una asociada a cada uno de los sectores urbano, pecuario y los dos subsectores agrícolas; para cerrar el modelo econométrico se establecerán dos identidades más una que conjunte el consumo total de agua subterránea y la otra referida al consumo total de agua en el Estado.

El modelo partirá del supuesto de que el consumo del recurso en cada sector es independiente entre sí, ya que las fuentes de abastecimiento y tratamiento previo a su uso para cada sector son particulares, dependiendo su destino de consumo final.

La justificación de la formulación del modelo planteado está basada en evidencia empírica. Basados en Carver y Bolland (1980), Jones y Morris (1984), Lyman, (1992), Gårn (1996), Höglund (1999), Saleth y Dinar (2001) y Jaramillo (2003), para el sector residencial se proponen el uso de una función de consumo de agua per cápita derivada de un modelo de producción doméstica de bienes de consumo final. El modelo tomará el precio del agua y la energía, el ingreso y la temperatura como factores que afectan la demanda. El modelo considera que el agua es consumida en los hogares en conexión con diferentes tareas o consumo de bienes finales. Entre las tareas que se desarrollan en el hogar y que consumen agua se encuentran la preparación de alimentos, la higiene personal, el lavado de la casa, de la ropa y de utensilios de cocina, entre otros usos. Cada tarea envuelve el uso de agua y en la mayoría de los casos el uso de la energía eléctrica y otros bienes como los aparatos electrodomésticos, el jabón, etc.

La función de consumo de agua para uso industrial será establecida basados en estudios que han analizado la estructura de este sector consumidor en países desarrollados (Williams y Suh, 1986; Ziegler y Bell, 1984; Renzetti, 1988 y 1992). Se asume que las industrias usan el agua con diferentes propósitos: como insumo intermedio para refrescar, como insumo para cocer ciertos productos a través de vapor, como insumo intermedio de movimiento, como insumo directo (en la producción de bebidas) y en la higiene. La construcción de un modelo de consumo de agua para uso industrial asume que una industria representativa escoge sus niveles de insumo de tal manera que minimiza su costo de producción. Asumiendo que el uso del agua es separable de otros insumos como la energía eléctrica.

El uso del agua como insumo en la producción pecuaria y agrícola determina que la forma funcional del consumo de ambos sectores sea similar a la que se ha presentado para la demanda de tipo industrial. El consumo de agua podría derivarse de funciones de costos de producción de la empresa. Las funciones de consumo para los sectores pecuario y agrícola (riego por gravedad y bombeo) contemplarán el precio de los principales insumos y productos finales, así como variables meteorológicas importantes en cada sector (precipitación pluvial y temperatura).

Es importante resaltar la inexistencia de información sobre precios del agua como tales en los diferentes sectores consumidores no solo en el Estado, sino de todo el país. El agua es un servicio público subsidiado por el cual se cobran cuotas anuales o bimestrales que no reflejan el costo real, y mucho menos guardan relación con la escasez del recurso; esto lleva a la ausencia de series de tiempo e información oficial en relación a los volúmenes consumidos de agua por tipo consumidor a nivel estatal. Considerando lo anterior, en este proyecto de investigación se hará un esfuerzo importante para recopilar toda la información necesaria por sector

consumidor que permita cuantificar el consumo histórico de agua a nivel Estado, así como las series históricas de las variables que con base en la teoría económica, determinan dicho consumo trabajo pretende ser un primer acercamiento estadístico sobre el consumo de agua por tipo de consumidor. Cabe mencionar que la calidad de la información es esencial en la calidad de las elasticidades calculadas, sobre todo en el principal consumidor que es el sector agrícola.

OBJETIVOS

- a) Cuantificar el consumo de agua en los sectores residencial, industrial, pecuario y agrícola del Estado.
- b) Determinar económicamente los factores que determinan el comportamiento del consumo por los diferentes sectores.
- c) Determinar las tarifas que se deberían de cobrar para hacer más racional el uso del agua en el Estado.
- d) Realizar pronósticos de la cantidad consumida por tipo de consumidor en el Estado.

HIPÓTESIS

- a) La cantidad consumida de agua actualmente por los sectores residencial, industrial, pecuario y agrícola excede el nivel necesario para un uso óptimo del líquido.
- b) El consumo de agua en el Estado está determinada, en forma inversa, por las tarifas cobradas y el precio de la energía eléctrica, y en forma directa por las condiciones ambientales, el Producto Interno Bruto per cápita y el precio de los productos finales obtenidos en los sectores agrícola y pecuario.
- c) Las tarifas cobradas por el agua en los diferentes sectores económicos del Estado se encuentran subvaluadas.

METAS A MEDIANO Y LARGO PLAZO

Mediano Plazo: Conocer la situación real sobre el consumo de agua en el Estado por tipo de consumidor y las variables económicas y climatológicas que inciden en éste; con base en los resultados de la investigación generar recomendaciones de política que contribuyan a establecer los lineamientos para un consumo más eficiente del líquido. Dar a conocer los resultados de la investigación vía publicación de artículos en revistas reconocidas por CONACYT y la participación en congresos sobre el tema.

Largo Plazo: Recopilar y en su caso generar la información sobre la disponibilidad

del recurso en el Estado (agua subterránea y superficial), lo que me permitiría añadir al modelo econométrico las relaciones funcionales correspondientes a la oferta del líquido en el Estado y así poder conocer estadísticamente la situación del saldo de agua estatal y poder generar recomendaciones de política basadas en éste. Dar a conocer los resultados de la investigación vía publicación de artículos en revistas reconocidas por CONACYT y participación en congresos que aborden el tema del agua.

METODOLOGÍA

Los objetivos de la investigación requieren del uso de modelos econométricos para determinar los factores de origen económico y climático que afectan el consumo de agua (por tipo de consumidor residencial, pecuario, agrícola e industrial) en el Estado; construyéndose con estos modelos un sistema de ecuaciones simultáneas que permita realizar escenarios de política. La estimación de las ecuaciones y del sistema de ellas se realizaría con el paquete computacional SAS (Statistics Analysis System) a través de varios de sus procedimientos (SUR y SYSLIM).

Para estimar los modelos econométricos se utilizarán datos estadísticos a nivel estatal que cubrirían la serie histórica de 1980 al año 2004. La estimación de los parámetros del modelo econométrico se efectuará por medio del método de mínimos cuadrados en dos etapas (Gujarati, 2000) con el paquete computacional antes citado. La congruencia estadística del modelo se determinaría por medio del coeficiente de determinación (R^2) que indica la bondad del ajuste de cada una de las ecuaciones estimadas; la significancia global de los coeficientes de cada ecuación se efectuaría con la prueba de F y la significancia individual de cada coeficiente, con la t de Student o la "razón de t"; y, cabe resaltar, que en lo económico se validaría el modelo de acuerdo con los signos esperados por la teoría económica de los coeficientes de cada ecuación y por la magnitud de las elasticidades.

Con las derivadas parciales de cada ecuación que corresponden a los coeficientes de las mismas, y los valores medios de cada variable se estimaron elasticidades para cada factor que afecta a la demanda. Con estas elasticidades se calcularán incrementos porcentuales necesarios en las tarifas y cuotas por uso de agua, para analizar cómo disminuye el consumo del recurso.

NOTA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carver, H. P. and J. J. Boland. 1980. Short- and Long-Run Effects of Price on

Municipal Water Use. *Water Resources Research*. 16: 609-616.

CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2005. Proyecciones de población en México: 2000-2030. Marzo. www.conapo.gob.mx/00cifras/5.htm

De Rooy, J. 1974. Price Responsiveness of the Industrial Demand for Water. *Water Resources Research*. 10: 403-406

Falkenmark, A. 1989. Fresh Waters as a Factor in Strategic Policy and Action. *Population and Resources in a Changing World*. Stanford University. Palo Alto, California.

FAO (Food and Agricultural Organization of United Nation). 1993. Las Políticas de Recursos Hídricos y la Agricultura. Roma, Italia.

García S. J. A., E. Guzmán S. y M. Fortis H. 2006. Demanda y distribución del agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia*. 40: 269-276.

Gårn H., L. 1996. Water and Energy Price Impacts on Residential Water Demand in Copenhagen. *Land Economics*. 72: 66-79.

González H. S., R. García M. y E. López L. 1992. El mercado de la carne en México: res, cerdo y pollo. Centro de Economía. Colegio de Postgraduados. 115 p.

Gujarati D., N. 2000. *Econometría*. 3rd ed. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, Colombia. 811 p.

Guzmán, S. E. 2005. Un modelo econométrico sobre el consumo de agua en la Comarca Lagunera. Tesis de Doctorado. Economía. Socioeconomía, Estadística e Informática. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 175 p.

Jaramillo M., L. A. 2003. Modelando la demanda de agua de uso residencial en México. Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. México D. F. Marzo de 2003. 17 p.

INEGI-BIE (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática-Banco de Información Económica). 2005. Sector Eléctrico: Precios Promedio de Energía Eléctrica por Sector Productivo. Febrero. www.inegi.gob.mx

Levine, G., A. Cruz, D. A. García, R. Garcés y S. Jonson. 1998. "Performance of Two Transferred Modules in the Lagunera Region: Water Relations". Reserch Report 23. Colombo, Sri Lanka.

Lyman A., R. 1992. Peak and Off-Peak Residential Water Demand. *Water Resources Research*. 28: 2159-2167.

SAGAR-SIAP (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Sistema de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2005. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON): 1980-2003. Abril. Versión en internet.
[Www.siea.sagarpa.gob.mx/sistemas/siacon/SIACON.html](http://www.siea.sagarpa.gob.mx/sistemas/siacon/SIACON.html)

SEMARNAT-CNA (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional del Agua). 2004. Estadísticas del Agua en México. México D. F. 141 p.

Sumpsi, J. M., A. Garrido, M. Blanco y O. Varela. 1998. "El Régimen Económico-Financiero del Agua y la Agricultura". *Revista de Estudios Agro-Sociales*. pp. 59-88.

United Nations. 1997. *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World*. United Nations Department for Policy Coordination and Sustainable Development, Commission on Sustainable Development.

Vaughan J., C. and J. R. Morris. 1984. Instrumental Price Estimates and Residential Water Demand. *Water Resources Research*. 20: 197-202.

Williams, M. and B. Suh. 1986. The Demand for Water by Customer Class. *Applies Economics*. 18: 1275-1289.

Ziegler, J. A. and S. E. Bell. 1984. Estimating Demand for Intake Water by Self-Supplied Firms. *Water Resources Research*. 20: 4-8.

(1) El grado de presión sobre el recurso hídrico es definido como el volumen total de agua considerado entre la disponibilidad media de agua