

Medición de la calidad del agua mediante indicadores. Relación entre éstos y las tarifas de abastecimiento

EDUARDO BEAMONTE CÓRDOBA, ALEJANDRO CASINO MARTÍNEZ y
ERNESTO JESÚS VERES FERRER

Departamento de Economía Aplicada

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA, ESPAÑA

e-mail: beamonte@uv.es; Alejandro.Casino@uv.es; Ernesto.Veres@uv.es

RESUMEN

La calidad del agua destinada al consumo humano se puede evaluar en función de un conjunto de características. En la literatura se han propuestos diversos indicadores que permiten integrar la información de dicho conjunto en un único valor o índice global. Por otra parte, los usuarios deben pagar un precio por el agua que consumen. En este artículo se van a considerar ambos aspectos: la calidad del agua y el gasto familiar por su consumo. Dos son los objetivos principales que se abordan: el primero se centra en la comparación de tres indicadores globales de calidad del agua, aplicados a los datos más recientes sobre agua superficial que proporciona la Confederación Hidrográfica del Júcar; el segundo consiste en estudiar hasta qué punto existe o no relación entre la calidad del agua para el consumo en los hogares y el gasto que le supone a éstos dicho consumo. Los resultados confirman la existencia de una relación positiva y estadísticamente significativa entre los tres indicadores de calidad utilizados, mientras que no hay evidencia empírica de que exista tal relación entre los conceptos de calidad y gasto.

Palabras clave: Usos agua prepotable, calidad del agua, índice de calidad, gasto familiar.

Measurement of the Water Quality Using Indicators. Its Relation with the Water Supply Rates

ABSTRACT

The quality of the water intended for human consumption can be evaluated depending on a set of characteristics. Many different indicators allowing to integrate the information of this set in a only value or global index have been proposed in the literature. On the other hand, the users must pay a price for the water that they consume. In this paper both aspects have been considered: water quality and familiar expense for its consumption. Two principal objectives are approached. The first one deal with the comparison of three global indicators of water quality applied to the most recent information on superficial water that provides the Confederación Hidrográfica del Júcar. The second objective is the study of the relation between the quality of the superficial water for human consumption, and the expense that it supposes to the homes. The results confirm the existence of a positive and statistically significant relation between the three indicators of quality used, whereas there is no empirical evidence of such relation between the concepts of quality and expense.

Keywords: Water for Human Consumption, Water Quality, Quality Index, Family Expense.

Clasificación JEL: C43, D12, Q25.

Artículo recibido en mayo de 2010 y aceptado en junio de 2010.

Artículo disponible en versión electrónica en la página www.revista-eea.net, ref. 28207.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural limitado, indispensable para la vida y susceptible de usos diferentes. Se trata de un recurso que debe estar disponible no sólo en la cantidad necesaria sino también con la calidad precisa.

Para la gestión del agua la Administración española ha dividido el territorio en Confederaciones, cada una de ellas responsable de una cuenca hidrográfica. En aquellos ámbitos territoriales donde el recurso agua es, más o menos, escaso o irregular en su disponibilidad —como es el caso de la cuenca hidrográfica gestionada por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ)—, la sociedad y los consumidores han estado más preocupados por los temas relacionados con la cantidad de agua disponible para satisfacer la demanda que con los relacionados con la calidad del agua consumida.

Con el transcurso del tiempo aumenta la conciencia de que el agua, como bien escaso, tiene valor económico, de manera que el consumidor está dispuesto a pagar por su adquisición. En la Declaración de Dublín de 1992 ya se afirmaba que el agua debe ser reconocida como un bien económico. Precisamente, es el no reconocimiento en el pasado de este valor económico lo que ha conducido al derroche y al uso de este recurso con efectos perjudiciales para el medio ambiente. Por ello, la gestión del agua, en su condición de bien económico, es un medio importante para conseguir un aprovechamiento eficaz y equitativo, y favorecer la conservación y protección de los recursos hídricos.

Paralelamente, también aumentan las exigencias sobre la calidad de ese bien escaso, que debe ser adquirido por un determinado precio.

La calidad del agua es un término complejo en el que intervienen muchos factores. Es un concepto variable que depende del uso que se vaya a hacer de ella, dado que cada uno de los usos presenta requerimientos específicos (Poch, 1999). En la legislación española y de la Unión Europea se recogen, para los usos más importantes del agua, una serie de requisitos que se basan en la medición de diferentes características. Puesto que el número de tales características suele ser grande, es difícil adquirir una idea clara del comportamiento de la calidad global del agua examinando la evolución de cada una de ellas por separado. Por ello se plantea el problema de integrar la información disponible sobre ese conjunto de características para obtener una valoración única o índice global. Con ese objetivo se han propuesto en la literatura distintos indicadores.

Así pues, resulta cada vez más necesario al hablar del agua combinar los tres conceptos básicos de cantidad, calidad y gasto derivado. En este trabajo se contemplan los dos últimos conceptos, la calidad del agua y el gasto familiar por su consumo. Su aplicación al ámbito de la CHJ determina ya un contexto de carencia en la cantidad disponible del recurso agua. Además, el artículo se centrará en la calidad del agua prepotable, pues el gasto que se va a considerar es el asumido por los hogares por la distribución, suministro público y el consumo de agua potable.

En el trabajo se abordan dos objetivos fundamentales: el primero consiste en la medición de la calidad del agua con tres indicadores globales publicados en la literatura internacional (el Índice General de Calidad, el Índice Administrativo de Calidad y el Índice Estocástico de Calidad); el segundo radica en el análisis de la relación entre la calidad del agua consumida por los hogares, cuando su origen es superficial, y el gasto derivado de la aplicación de la tarifa aprobada por la Administración correspondiente por su distribución y consumo. Para la consideración de este concepto de gasto se han asumido una serie de supuestos simplificadores que se expondrán posteriormente.

El artículo se ha organizado del siguiente modo. A continuación, en el apartado 2, se presenta el caso de estudio. En el apartado 3 se comentan aspectos metodológicos. Los principales resultados se presentan en el apartado 4. Por último, en el apartado 5 se comentan las principales conclusiones de la investigación. Asimismo, en ese último apartado y con objeto de que esta investigación pueda tener una mayor utilidad, se proponen algunas recomendaciones que pueden ser valoradas por los responsables políticos encargados de tomar decisiones en materia de diseño y aplicación de tarifas referentes al consumo de agua.

2. CASO DE ESTUDIO: EL AGUA DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

En la Confederación Hidrográfica del Júcar la irregularidad en las precipitaciones viene avalada por una climatología marcadamente mediterránea, caracterizada por una sequía estival e inundaciones recurrentes en otoño, y por una orografía en la que están presentes dos zonas claramente diferenciadas, litoral y montañosa, que la favorecen. En el período 1940-2001 la precipitación se situó por debajo de la media el 55% de los años, con gran irregularidad en la distribución temporal, observándose una alta frecuencia en la existencia de dos o más años seguidos con precipitación inferior a la media (siete ocasiones en el período considerado). En el análisis conjunto cabe calificar como sequías, por su duración e intensidad, los períodos 1942-1944, 1952-1956, 1980-1986 y 1992-1995. De estos períodos las sequías más severas fueron la de los años 1980-1986, por su duración y la de 1991-1995 por su intensidad. En el 1999-2000 se registraron los mínimos históricos de precipitaciones y aportaciones del período 1940-2001. La última gran sequía en la cuenca se inició en el año 2004, si bien las precipitaciones del último año hidrológico —aún no finalizado— han mejorado la situación (CHJ, Evaluación ambiental estratégica de los Planes Especiales de Actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en la Cuenca Hidrográfica del Júcar, en <http://www.chj.es>).

2.1. Muestra de estaciones de control de la calidad del agua

Inicialmente, se ha obtenido una muestra de 60 estaciones de control de la calidad del agua en el ámbito de la CHJ, todas ellas con la suficiente información para

poder calcular en las mismas los índices de calidad que se van a considerar en este trabajo. En cada estación se efectúan periódicas mediciones de la calidad del agua que por ella transcurre, información que se recoge y analiza por los servicios técnicos de la Confederación.

Estas estaciones de control forman parte de la Red de Control de Calidad de la Confederación Hidrográfica del Júcar y están perfectamente localizadas con sus coordenadas UTM. Están repartidas a lo largo de todo el territorio administrado por la CHJ: 6 en la provincia de Teruel; 5 en la provincia de Castellón; 7 en la provincia de Cuenca; 24 en la provincia de Valencia; 6 en la provincia de Albacete y 12 en la provincia de Alicante. En la tabla 1 se relacionan las estaciones de control de la muestra, su denominación y el río o canal en el que están situadas. Una completa descripción de su localización puede encontrarse en la web <http://www.chj.es>.

TABLA 1
Localización de las estaciones de control.

Código	Nombre	Río/Canal	Código	Nombre	Río/Canal
B402 (*)	Orrios (Te)	Alfambra	I502	Macastre (V)	Magro
C301 (*)	San Blas (Te)	Turia	I504 (*)	Alborache (V)	Buñol
C402 (*)	Teruel (Te)	Turia	I602 (*)	Quart de Poblet (V)	Turia
C403 (*)	Teruel (Te)	Alfambra	I603 (*)	Picassent (V)	Júcar-Turia
D201	V. Juan Romero (Cu)	Júcar	J201	La Recueja (Ab)	Júcar
D501	El Terde (Te)	Mijares	J302	Embalse Molinar (Ab)	Júcar
E104 (*)	Chantre (Cu)	Júcar	J406	Cofrentes (V)	Cabriel
E203	PROFORCA (Cu)	Tejadillos	J601	Cullera (V)	Júcar
E304	Torrebaja (V)	Ebrón	K202 (*)	Los Frailes (Ab)	Júcar
E503	Puebla Arenoso (Cs)	Mijares	K504	Tous (V)	Júcar
E516 (*)	Escaleruela (Te)	Albentosa	K507 (*)	Acequia Real del Júcar (V)	Júcar
E606 (*)	Cirat (Cs)	Mijares	K508	Escalona (V)	Escalona
F003	Castellar (Cu)	Júcar	K512	Quesa (V)	Grande
F301	Rinconadas (Cu)	Turia	K602	Alzira (V)	Verde
F401	Zagra (V)	Turia	L105 (*)	Albacete (Ab)	Trasvase
F502 (*)	Regajo (Cs)	Palancia	L502	Ayacor (V)	Canyoles
F604 (*)	Fuente Vaños (Cs)	Palancia	L702	El Pescador (V)	Bullens
G207	Camporrobles (Cu)	Mira	L703 (*)	Molinell (A)	Molinell
G402	Benagéber (V)	Turia	M001	El Zarzalejo (Ab)	Arquillo
G403	Calles (V)	Tuéjar	M501	Benejama (A)	Vinalopó
G501 (*)	Benagéber (V)	Benagéber	M607 (*)	Guadalest (A)	Guadalest
G602	Sot de Ferrer (Cs)	Palancia	M608	Guadalest (A)	Guadalest
H102	Alarcón (Cu)	Júcar	N501 (*)	Tibi (A)	Montegre
H401	Chullilla (V)	Turia	N603 (*)	Amadorio (A)	Sella
H402 (*)	Loriguilla (V)	Turia	N703	Callosa d'Ensariá (A)	Algar

TABLA 1 (Continuación)
Localización de las estaciones de control.

Código	Nombre	Río/Canal	Código	Nombre	Río/Canal
H403 (*)	Sot de Chera (V)	Reatillo	O501	Aspe (A)	Vinalopó
H601 (*)	La Presa (V)	Turia	O502	Monóvar (A)	Vinalopó
H602 (*)	Manises (V)	Júcar-Turia	O603 (*)	Jijona (A)	de la Torre
H603 (*)	Obturador (V)	Sagunto	P501 (*)	Elche (A)	Vinalopó
I301 (*)	Villatoya (Ab)	Cabriel	P502 (*)	Elche (A)	Vinalopó

Notas: (*) Estaciones seleccionadas para el estudio de la relación entre calidad y gasto.
(Ab) Albacete; (A) Alicante; (Cs) Castellón; (Cu) Cuenca; (Te) Teruel; (V) Valencia.

En la tabla 2 se explicitan los parámetros, o características físico-químicas, que son medidos en las estaciones de control y empleados en el cálculo de los índices de calidad.

TABLA 2
Características físico-químicas y sus unidades de medida.

Parámetro	Unidad de medida
Amoniaco	mg/L NH ₄
Arsénico	mg/L As
Bario	mg/L Ba
Cadmio (*)	mg/L Cd
Cianuro (*)	mg/L CN
Cobre (*)	mg/L Cu
Coloración	mg/L escala Pt
Cromo	mg/L Cr
Fenoles (*)	mg/L C ₆ H ₅ OH
Fluoruros	mg/L F
Hidrocarburos disueltos	mg/L
Hierro	mg/L Fe
Mercurio (*)	mg/L Hg
Nitratos (*)	mg/L NO ₃
Plomo (*)	mg/L Pb
Selenio	mg/L Se
Sulfatos (*)	mg/L SO ₄
Temperatura	°C
Zinc (*)	mg/L Zn

Nota: (*) Parámetros comunes utilizados en el cálculo de todos los índices de calidad.

Los datos analizados abarcan el período temporal comprendido entre los años 2000 y 2009, ambos inclusive.

2.2. Sistema tarifario y gasto familiar por el consumo de agua

Son los Ayuntamientos —o empresas en las que éstos externalizan su administración y control— los competentes para dar el servicio y fijar las tarifas por la distribución y consumo del agua potable, lo que provoca que las situaciones sean muy diversas en relación a la calidad, a la garantía en el suministro y a las respectivas estructuras de precios.

También las Comunidades Autónomas intervienen —además de en la aprobación final de las tarifas acordadas por los Ayuntamientos— en la fijación de las tasas relacionadas con la depuración de aguas residuales. En este trabajo sólo vamos a tener en cuenta las primeras, las directamente relacionadas con el suministro, distribución y consumo del agua potable de uso doméstico.

La intervención pública en la captación del agua para el suministro público podría dar a entender la existencia de una política común en el diseño de las tarifas. Pero esto no es así. Concretamente, la estructura de las tarifas aplicadas en los distintos municipios es muy variada, al responder a la propia lógica de explotación de cada municipio, y que tiene fuerte relación con el origen (superficial o subterráneo) de la fuente del agua. Así, existen municipios que no cobran el agua, por lo que no son objeto de atención en el presente trabajo y quedan excluidos del mismo. Otros aplican una tarifa única, independientemente del consumo, o distinguen bloques según intervalos de consumo, cuya incidencia es mayor en las familias con mayor número de miembros por ser una tarifa progresiva. Otros tienen en cuenta un coste fijo —como cuota por la prestación del servicio, cuyo efecto es mayor sobre las familias con menor número de miembros—, y otros tarifican según el calibre del contador, distinguiendo si el abonado es un hogar, una industria o un comercio. Finalmente, existen municipios que facturan por la lectura y mantenimiento de los contadores y/o instalaciones, también con tarifa fija o por bloques. También es muy variada la referencia temporal de la aprobación de las tarifas, existiendo municipios que las mantienen desde 1998, mientras que otros las han actualizado ya a comienzos del presente año. El año de aprobación más frecuente para los municipios considerados en la aplicación posterior es 2009, pues cada vez con mayor frecuencia la Administración local actualiza anualmente las tarifas, muchas veces atendiendo exclusivamente a la evolución de la inflación.

Como puede apreciarse, y dado que la fijación de las tarifas se realiza por acuerdo municipal, los Ayuntamientos pueden utilizar diferentes criterios a la hora de distribuir los costes del suministro entre los contribuyentes, lo que motiva su amplia variedad. No obstante, la condición de “precio autorizado” obliga a su aprobación final por el órgano competente de la Comunidad Autónoma y su posterior publicación en el Diario Oficial respectivo. Una valoración de la posible incidencia de este último control autonómico está descrita en Molina (2001). En Sevilla et al. (2003)

puede consultarse una completa aproximación a la valoración de la estructura tarifaria para ciertos municipios de la provincia de Alicante.

Así pues, la amplia casuística del tema tratado en este trabajo obliga a introducir hipótesis simplificativas tendentes a normalizar y uniformizar la variada tipología tarifaria. De entrada, la unidad de medida para el consumo. La unidad de facturación es el consumo realizado en metros cúbicos por abonado, facturándose en meses, bimestres, trimestres o semestres. Incluso algunos de los términos de la tarifa tienen facturación anual. Identificando abonado por hogar, el criterio del trabajo ha sido considerar como unidad para los cálculos el consumo en $\text{m}^3/\text{hogar}/\text{mes}$.

Por otra parte, la aplicación de la tarifa depende, en muchas ocasiones, del calibre del contador. Dado que se plantea relacionar calidad con gasto del agua consumida por los hogares, hemos tomado como calibre-tipo del contador para el agua de consumo doméstico el calibre de 15 mm, que es el más usual en los hogares, por lo que la tarifa es la que corresponde al mismo.

El comportamiento del consumo de agua varía según municipios. Se trata, además, de un dato no siempre disponible, sobre todo en aquellos municipios en los que la gestión es directa, y no a través de una empresa suministradora contratada a tal efecto. Así pues, para poder comparar el gasto abonado por cada hogar, hemos definido un consumo medio por hogar a partir de la información más reciente de la Estadística Medioambiental sobre el Agua publicada en la web del Instituto Nacional de Estadística (INE), que valoraba en 160 litros/persona/día el consumo medio de agua en España en 2006. Utilizando el tamaño medio de un hogar deducido de los datos del Censo de Población y Vivienda de 2001, definido como cociente entre el número de residentes en viviendas familiares y el número de hogares —y que toma el valor de 2,86 miembros/hogar—, el dato del consumo en litros/persona/día del año 2006 se transforma en un consumo medio por hogar de 166,975 $\text{m}^3/\text{hogar}/\text{año}$ y, consecuentemente, 13,915 $\text{m}^3/\text{hogar}/\text{mes}$. Es este último valor el aplicado para estimar en cada municipio el gasto de cada hogar tras la aplicación de la respectiva tarifa. En esta valoración no se ha tenido nunca en cuenta el IVA correspondiente.

No todas las estaciones de control de la tabla 1 son susceptibles de ser consideradas al intentar establecer su relación con una estructura tarifaria. En efecto, hay estaciones que analizan la calidad de un agua que no es utilizada para el posterior abastecimiento de la población, en cuanto que su red de agua potable se surte de aguas subterráneas (acuíferos o pozos). Por ello, sólo se han considerado las 29 estaciones de medición de calidad de aguas que sí van a formar parte, en todo o parcialmente, del agua potable consumida por un municipio, previo tratamiento según normativa. Esas estaciones se corresponden con 23 municipios, cuya agua potable sí tiene ese origen superficial, con la siguiente distribución provincial: 3 pertenecen a la provincia de Teruel; 2 a la de Castellón; 1 a la de Cuenca; 9 a la provincia de Valencia; 2 pertenecen a la provincia de Albacete; y, finalmente, 6 son de la provincia de Alicante.

De todas las estaciones relacionadas con los anteriores municipios se dispone de suficiente información estadística sobre los parámetros asociados a la calidad del agua, y que son los que permiten el cálculo de los tres índices de calidad considerados en el trabajo. La población afectada por las 29 estaciones seleccionadas asciende, según el Padrón de 2009 (INE), a 1881753 habitantes.

Ante la imposibilidad de evaluar la calidad de una mezcla de aguas de distintos orígenes, por falta de información sobre las calidades de las distintas aguas y del porcentaje de cada una de ellas en el suministro global, aceptaremos, en este caso de mezcla de aguas, la hipótesis simplificativa de que siempre que una de ellas tenga origen superficial en la localización de la respectiva estación de control, la calidad del agua resultante es la misma que la calidad medida por dicha estación.

La tabla 3 muestra, para cada una de las 29 estaciones seleccionadas, los gastos por concepto tarifario —distinguiendo entre la cuota por la prestación del servicio, el consumo de agua propiamente dicho, y otros conceptos de la tarifa, como es, por ejemplo, el alquiler de contador— y el gasto total que corresponde a un hogar-tipo que tiene un consumo medio calculado según las hipótesis consideradas anteriormente. La existencia de gastos repetidos en estaciones distintas obedece a que son estaciones de control de calidad cuya agua surte a un mismo municipio. Y la repetición de estaciones con gastos distintos es debido a que el agua de esas estaciones es distribuida en varios municipios.

TABLA 3
Estaciones de control y gasto del agua potable pagado por un hogar-tipo.

Código estación	Año tarifa	Cuota servicio	Cuota consumo	Otros conceptos	Gasto (€/hogar/mes)
B402	2001	0,4850	3,4787	0,0000	3,9637
C301	2009	0,7200	7,3227	0,6500	8,6927
C402	2009	0,7200	7,3227	0,6500	8,6927
C403	2009	0,7200	7,3227	0,6500	8,6927
E104	2010	2,8917	4,67597	0,0000	7,5677
E516	2009	0,0000	10,93477	4,4092	15,3434
E606	2009	4,4800	0,83957	0,4733	5,7929
F502	1998	1,4024	2,2233	1,0017	4,6274
F604	1998	1,4027	2,2233	1,0017	4,6277
G501	2008	2,0980	6,0203	0,0000	8,1183
H402	2008	3,3200	6,6790	0,0000	9,9990
H403	2008	3,3200	6,6790	0,0000	9,9990
H601	2009	7,6450	6,3349	0,0000	13,9799
H602	2009	7,6450	6,3349	0,0000	13,9799
H602	2009	5,2710	8,4740	0,7050	14,4500
H603	2009	2,9200	3,8961	0,0000	6,8161
I301	2008	1,6667	3,9418	0,0000	5,6085

TABLA 3 (Continuación)

Estaciones de control y gasto del agua potable pagado por un hogar-tipo.

Código estación	Año tarifa	Cuota servicio	Cuota consumo	Otros conceptos	Gasto (€/hogar/mes)
I504	2007	1,5500	2,9221	0,0000	4,4721
I602	2009	8,4560	7,9452	0,0000	16,4012
I603	2009	4,7500	7,5548	1,9006	14,2054
I603	2009	5,2710	8,4740	0,7050	14,4500
K202	2009	2,7000	14,1608	0,7065	17,5673
K507	2009	4,1500	2,4830	0,0000	6,6330
L105	2009	2,7000	14,1608	0,7065	17,5673
L703	2009	8,7450	6,8288	1,1900	16,7638
M607	2005	5,6667	0,0000	0,0000	5,6667
N501	1998	1,9984	1,7443	0,5008	4,2435
N603	2006	6,8200	15,6221	0,5051	22,9472
O603	2010	27,3800	9,1535	1,0200	37,5535
P501	2010	3,6333	9,3313	0,5233	13,4879
P502	2010	3,6333	9,3313	0,5233	13,4879

3. METODOLOGÍA

3.1. Tres índices de calidad

Para medir la calidad del agua se han utilizado distintos indicadores. El primer índice de calidad con vocación de globalidad que es utilizado con generalidad en muchos países —entre ellos, por la Administración española— es el Índice General de Calidad (IGC), desarrollado por el Ministère de Richesses Naturelles canadiense (Provencher y Lamontagne, 1977). Se aplica para cualquier tipo de agua, independientemente de su destino final, de ahí el calificativo de general. En él se utiliza un conjunto de características físico-químicas del agua (Chapman, 1992), cuyos valores, según ciertas funciones de equivalencia, van configurando la medición de la calidad del agua considerada. Su expresión es la siguiente

$$IGC = \sum_{i=1}^n Q_i P_i,$$

donde n es el número de características físico-químicas analizadas; Q_i representa una función de equivalencia que transforma la concentración de la característica i a un nivel de calidad con rango entre 0 y 100 (0 corresponde al peor nivel de calidad y 100 al nivel ideal); y P_i es una ponderación para la característica i , cuya suma, para todas las características, es la unidad.

La escala de medición para la característica i establece que su nivel de calidad es: excelente cuando $Q_i = 100$; muy bueno si $100 > Q_i \geq 85$; bueno si $85 > Q_i \geq 75$;

aceptable si $75 > Q_i \geq 60$; malo (lo que supone un tratamiento necesario para el agua) si $60 > Q_i > 0$; e inaceptable si $Q_i = 0$.

Como el objeto de este trabajo se centra en el uso prepotable del agua, se ha adaptado el IGC a tal fin, y así se ha calculado sólo sobre las 9 características físico-químicas que son comunes a los tres índices utilizados, y no sobre la totalidad de las características de su diseño original. No es posible calcularlo sobre todos los parámetros que controlan la calidad del agua prepotable empleados en los otros dos índices considerados —lo que aseguraría la estricta comparación de los resultados obtenidos con los tres índices—, pues no son conocidas para todos los parámetros las funciones de equivalencia recogidas en la metodología del IGC.

Con posterioridad, Beamonte et al. (2004) desarrollaron un Índice Administrativo de Calidad (IAC), diseñado para determinar la calidad del agua prepotable. Su calificativo de administrativo obedece a que respeta la clasificación resultante de la normativa que sobre la calidad del agua se aplica en el ámbito europeo (Directivas 75/440/CEE y 79/869/CEE). Esta normativa clasifica el agua prepotable en cuatro niveles de calidad, atendiendo al número de características físico-químicas que quedan dentro de ciertos rangos prefijados. Su expresión matemática es la siguiente

$$IAC = \frac{1}{6}(s_1^3 + 3s_1^2 + 2s_1) + \frac{1}{2}(s_2^2 + s_2) + v_1 + 1,$$

donde $s_1 = a + b + c$ y $s_2 = a + b$, siendo a , b y c , respectivamente, el número de características físico-químicas que pertenecen a los tres primeros niveles de calidad prefijados por la normativa.

Posteriormente, estos últimos autores definieron un nuevo indicador de diseño más complejo, el Índice Estocástico de Calidad (IEC), pero que es aplicable al agua sea cual sea su destino final y que tiene la ventaja de considerar la incertidumbre asociada a los datos muestrales dentro de un contexto probabilístico (Beamonte *et al.*, 2005; Beamonte *et al.*, 2010), de ahí su calificativo de estocástico. En efecto, la existencia de “malos” datos en una toma de ellos no debe invalidar la calidad global del agua cuando todas las demás muestras sean aceptables, de manera que el Cálculo de Probabilidades determina, en términos de probabilidad hasta qué punto un mal dato puede obedecer simplemente al azar, no implicando al resto. Dado el objetivo de este artículo, el IEC va a aplicarse también al agua prepotable. Formalmente, la expresión de este índice es la misma que la del IAC, pero en este caso las características físico-químicas se consideran variables aleatorias, con un modelo de probabilidad que explica el comportamiento de sus valores observados. En su concepción se modeliza el percentil 95% de la distribución muestral de los datos. De esta forma los valores a , b y c que lo componen se definen a partir de las probabilidades de que los valores de cada una de las diferentes características físico-químicas pertenezcan a cuatro niveles de calidad prefijados en función de dicho percentil.

Otros autores han desarrollado y aplicado diversos indicadores para evaluar la calidad físico-química y biológica del agua (Bordalo y Savva-Bordalo, 2007; Graça

y Coimbra, 1998; Icaga, 2007; Lermontov *et al.*, 2009; Marchini *et al.*, 2009; Prat y Munné, 2000; Said *et al.*, 2004; Sánchez *et al.*, 2007; Simões *et al.*, 2008).

3.2. Relación entre la calidad y el gasto familiar por el consumo de agua

Como se ha indicado en la introducción, el segundo objetivo principal que se pretende abordar en este trabajo es el estudio de la relación existente entre la calidad inicial del agua prepotable y el gasto que le supone a cada hogar el consumo de la misma, una vez tratada y potabilizada. Concretamente, se puede plantear la posibilidad de que un menor nivel de calidad inicial en el agua prepotable se traduzca en un gasto menor para los hogares; o, por el contrario, una menor calidad inicial se traduzca en un mayor gasto por su consumo, debido al necesario proceso en el tratamiento de potabilización. Este proceso resulta necesario en el caso, prácticamente general, de que el agua inicial no tenga las condiciones exigidas por la normativa europea.

Al disponer de una medición de la calidad del agua a través de indicadores globales y de una estimación del gasto abonado para un consumo medio por un hogar-tipo (después de asumir todos los supuestos señalados en el apartado anterior), es posible estudiar la relación entre calidad y gasto. El análisis estadístico a realizar consiste, en primer lugar, en la obtención de sendas correlaciones de Pearson entre el nivel de calidad, según el índice utilizado, y el correspondiente gasto. Para ello se consideran los tres índices descritos: IGC, IAC e IEC. Los dos últimos son estrictamente comparables, al estar calculados sobre las mismas características físico-químicas. El primero, tal como se ha indicado con anterioridad, se ha calculado sobre los nueve parámetros comunes con los del IAC e IEC para los que se conocen las respectivas funciones de equivalencia, por lo que los resultados obtenidos con él deben entenderse con las reservas pertinentes.

Además del análisis de correlaciones paramétrico que se acaba de mencionar (basado en el coeficiente de correlación lineal de Pearson), también se ha realizado un análisis de correlaciones no paramétrico utilizando el coeficiente de correlación por rangos de Spearman para analizar la relación entre las posiciones que ocupan las distintas estaciones después de ordenarlas atendiendo a los valores de las medidas de la calidad de su agua y del gasto familiar asociado. De la misma forma, se aplican estas técnicas de correlación para analizar en qué medida los tres índices de calidad utilizados son igualmente válidos para analizar el comportamiento de la calidad del agua.

Cabe citar otros trabajos en los que se ha considerado, además de la calidad, aspectos relacionados con el precio o distintos tipos de costes asociados con el agua (Barberán *et al.*, 2008; Barreiro y Pérez, 2006; Beamonte *et al.*, 2006; González, 2005; Velázquez *et al.*, 2006).

4. RESULTADOS

4.1. Índices de calidad

Los valores de los tres índices para las 60 estaciones de la muestra se especifican en la tabla 4.

TABLA 4
Medias de los IGC, IAC e IEC por estaciones de control.

Código estación	IGC	IAC	IEC	Código estación	IGC	IAC	IEC
B402	30,38	51,49	203,56	I502	98,39	107,15	538,59
C301	79,18	186,64	958,71	I504	94,64	120,14	455,80
C402	43,28	191,23	1088,20	I602	90,87	102,17	309,94
C403	85,26	166,70	944,53	I603	87,02	157,69	814,22
D201	95,08	127,83	552,72	J201	23,1	29,41	34,58
D501	51,03	75,90	488,06	J302	90,87	80,07	409,42
E104	13,55	24,72	56,43	J406	95,14	74,38	410,11
E203	18,41	35,92	81,37	J601	92,11	288,28	669,74
E304	19,41	67,46	218,52	K202	91,21	352,69	845,40
E503	62,91	68,67	454,16	K504	18,79	58,00	129,66
E516	74,81	662,94	1051,48	K507	94,67	283,40	819,60
E606	19,92	37,09	159,87	K508	18,11	30,81	41,42
F003	18,52	34,83	63,30	K512	19,58	34,84	39,30
F301	41,85	73,35	450,28	K602	89,95	63,62	382,35
F401	85,6	69,11	438,17	L105	75,64	248,57	777,62
F502	80,6	89,09	607,32	L502	75,78	90,38	258,90
F604	45,4	107,13	503,83	L702	30,09	27,78	45,13
G207	18,53	36,41	69,55	L703	93,72	135,80	796,89
G402	97,68	159,23	851,53	M001	33	30,10	81,69
G403	90,39	274,13	526,31	M501	92,52	103,37	562,23
G501	54,69	311,47	931,27	M607	84,75	235,95	951,57
G602	86,02	93,74	510,05	M608	17,83	28,40	82,80
H102	91,39	137,40	820,82	N501	86,47	90,01	384,70
H401	11,81	31,27	54,93	N603	90,29	165,50	924,87
H402	97,67	311,65	932,70	N703	22,54	58,58	964,16
H403	95,3	293,91	557,78	O501	64,75	61,51	514,53
H601	83,25	288,73	933,17	O502	80,36	52,34	418,88
H602	86,78	141,65	783,11	O603	82,06	77,32	350,96
H603	69,27	106,7	630,89	P501	40,81	51,23	78,29
I301	91,85	142,12	939,93	P502	61,88	83,68	397,76

La tabla 5 muestra las correlaciones, expresadas a través del coeficiente de correlación lineal de Pearson, entre las medias por estación de los tres índices. Como

era de esperar la correlación entre los tres índices es positiva y estadísticamente significativa (todos los niveles de significación críticos son inferiores a 0,001).

TABLA 5
Correlaciones lineales de Pearson (significatividad entre paréntesis)
entre los índices IGC, IAC e IEC.

—	IGC	IAC	IEC
IGC	1	0,489 (< 0,001)	0,647 (< 0,001)
IAC	0,489 (< 0,001)	1	0,708 (< 0,001)
IEC	0,647 (< 0,001)	0,708 (< 0,001)	1

También las correlaciones por rangos, a través del coeficiente Rho de Spearman, confirman la conclusión anterior: existe significatividad en la relación directa entre los tres índices cuando se utilizan para la ordenación de las respectivas estaciones de control atendiendo a su calidad, tal como se aprecia en la tabla 6.

TABLA 6
Correlaciones de Spearman (significatividad entre paréntesis)
entre las ordenaciones de las estaciones a partir de los índices IGC, IAC e IEC.

—	IGC	IAC	IEC
IGC	1	0,704 (< 0,001)	0,575 (< 0,001)
IAC	0,704 (< 0,001)	1	0,863 (< 0,001)
IEC	0,575 (< 0,001)	0,863 (< 0,001)	1

La existencia de correlaciones positivas estadísticamente significativas entre los tres índices, tanto al considerarlas variables cuantitativas como cuando se utilizan para la ordenación de las estaciones de control, confirma que los tres índices están midiendo el mismo concepto de calidad. Esto no quiere decir que lo hagan de forma idéntica, pues es la mayor sensibilidad del IEC, basada en sus propiedades estadísticas, la que permite afinar más la medición de la misma (Beamonte *et al.*, 2005 y 2010).

También se ha comprobado que en las estaciones de control de la muestra la calidad del agua no está correlacionada con la altitud de la estación de medición. En efecto, no han resultado significativos todos los tests de igualdad de medias o los anovas calculados para los tres índices de calidad al segmentar las estaciones en dos o tres subpoblaciones atendiendo a la altitud de su ubicación. Así, por ejemplo, al segmentar las estaciones según que su altitud sea mayor o menor de 500 metros sobre el nivel del mar, el test de Mann-Whitney proporciona *p*-valores iguales a 0,174, 0,807 y 0,437 para los índices IGC, IAC e IEC, respectivamente. El anova obtenido al considerar las estaciones estratificadas hasta 300 metros, de 301 hasta

600 metros y más de 600 metros, proporciona significatividades globales expresadas por los valores 0,252, 0,767 y 0,926 para los índices IGC, IAC e IEC, respectivamente, confirmando la inexistencia de diferencias significativas entre las respectivas medias de los tres índices para las tres subpoblaciones.

Tampoco han resultado estadísticamente significativas las diferencias de las medias de los tres índices calculadas al segmentar la información de las estaciones de control en dos periodos temporales, correspondientes a los cinco primeros (2000 a 2004) y cinco últimos años (2005 a 2009) de la serie de datos. La tabla 7 recoge las medias para el IAC y el IEC —los dos índices que utilizan en su definición los mismos parámetros— que corresponden a los dos subperiodos temporales, así como los p -valores correspondientes a la prueba t para muestras independientes.

TABLA 7
Comparación de los valores medios de los índices IAC e IEC
en los periodos 2000-2004 y 2005-2009.

Índice	2000-2004	2005-2009	Comparación de medias	
			Diferencia	p -valor
IAC	133,23	142,56	-9,33	0,700
IEC	403,55	436,54	-32,99	0,535

Para el conjunto de las 60 estaciones de control de la muestra puede hablarse, pues, de estabilidad temporal de la calidad del agua, y también de estabilidad de la calidad respecto a la altitud de la estación de control.

4.2. Gasto en consumo de agua potable y su relación con la calidad

En la tabla 3, presentada anteriormente, se observa que las distintas tarifas dan lugar a un gasto mensual para el hogar-tipo que toma valores en el rango comprendido entre 3,964 € y 37,553 €. El gasto medio mensual sin ponderar es de 11,517 €, y si lo ponderamos por la población de cada municipio en 2009 ascendería hasta 18,277 €, dado que son los municipios de mayor población los que tienen tarifas mayores. Sin embargo, el coeficiente de correlación entre habitantes y gasto por hogar es de 0,412, con un nivel de significación crítico de 0,051, que no permite afirmar o negar con rotundidad la existencia de relación entre tamaño del municipio y el gasto que supone para el hogar-tipo el suministro y consumo de agua potable. En este sentido es destacable la gran variedad de situaciones en los municipios pequeños alejados de las áreas metropolitanas, puesta de manifiesto por el Libro Blanco del Agua (Ministerio de Medio Ambiente, 2000), muchos de los cuales prestan directamente el servicio, lo que influye en la no significatividad de la relación entre el tamaño poblacional y el gasto del suministro para el hogar-tipo.

Por otra parte, el coeficiente de correlación lineal entre el gasto del hogar-tipo y el cociente entre las dos primeras componentes de ese gasto —es decir, entre la cuota de servicio y la cuota de consumo— es 0,152, con un nivel de significación crítico de 0,440, lo que supone no poder aceptar que el mayor gasto de los hogares se produce con aquellas tarifas en las que la cuota del servicio es mayor en relación a la cuota por consumo directo. El mismo resultado se obtiene cuando se considera directamente la relación entre la cuota de servicio y la cuota de consumo, con un coeficiente de correlación de 0,158, para una significación bilateral de 0,406. En definitiva, no parece fácil encontrar relaciones de dependencia o de causalidad claras dentro de la estructura tarifaria de los 23 municipios estudiados.

Finalmente, en la tabla 8 se recoge la correlación, expresada tanto por el respectivo coeficiente de correlación de Pearson como por la correlación por rangos a través del coeficiente de Spearman, entre los índices IGC, IAC e IEC y la estimación del gasto por el consumo de agua (en €/hogar/mes).

TABLA 8

Correlaciones de Pearson y de Spearman (significatividad entre paréntesis) entre el gasto del agua potable para un hogar-tipo y los índices IGC, IAC e IEC.

Correlación entre el gasto por consumo y la calidad del agua	IGC	IAC	IEC
Coefficiente de correlación de Pearson	0,274 (0,142)	0,096 (0,613)	0,051 (0,787)
Coefficiente Rho de Spearman	0,228 (0,227)	0,273 (0,145)	0,128 (0,500)

Tanto la correlación de Pearson como la correlación ordinal o por rangos entre el gasto que le supone a un hogar-tipo su consumo de agua y la calidad de ésta medida a través del IGC, el IAC o el IEC no son estadísticamente significativas.

5. CONCLUSIONES

El agua es un recurso natural limitado, indispensable para la vida, que debe estar disponible en la cantidad necesaria, con la calidad precisa y por el que se debe pagar un precio.

En este trabajo se ha analizado la calidad del agua destinada al consumo humano a través de tres índices: el Índice General de Calidad (IGC), el Índice Administrativo de Calidad (IAC) y el Índice Estocástico de Calidad (IEC). Se ha detectado la existencia de una significativa correlación positiva entre ellos (tanto a través del coeficiente de correlación lineal de Pearson como con el coeficiente de correlación ordinal de Spearman), lo que indica que los tres índices miden la calidad del agua prepotable en el mismo sentido. Este resultado está en línea con los obtenidos en

otros estudios aplicados sobre otras estaciones y/o ámbitos territoriales, que ponen también de manifiesto la medición de la calidad más acurada que se consigue a través del IEC.

Se ha comprobado que la calidad del agua permanece estable en los dos quinquenios (2000-2004 y 2005-2009) del decenio (2000-2009) estudiado, y que también existe estabilidad en dicha calidad respecto a la altitud de la estación de control.

Los análisis realizados al considerar el sistema tarifario y el gasto efectuado por el hogar-tipo en concepto de consumo de agua potable proporcionan ciertos resultados de interés.

En primer lugar, no parece existir evidencia estadística de que la estructura tarifaria está correlacionada ni entre sus componentes —cuota de servicio, cuota de consumo y otros costes—, ni con el gasto realizado por el hogar-tipo para satisfacer sus necesidades de agua potable. Tampoco hay constancia de que exista una relación estadísticamente significativa entre el tamaño poblacional y el gasto del hogar-tipo. Además, la existencia de un mismo origen del agua superficial para municipios distintos que, a su vez, aplican tarifas diferentes pone de manifiesto que éstas no están diseñadas necesariamente con criterios de racionalidad en el consumo, penalizando los consumos mayores, o con criterios en los que se tenga en cuenta la calidad inicial del agua.

En segundo lugar, el estudio del comportamiento del gasto por el consumo de agua potable y la calidad de la misma, pone de manifiesto que la relación entre ambos aspectos no es estadísticamente significativa. A priori, se podría suponer que existiera una alta correlación negativa entre gasto y calidad, pensando en que una menor calidad del agua tendría que haberse traducido en un mayor gasto en su tratamiento de potabilización. Por el contrario, se podría haber considerado inicialmente que la correlación entre el gasto por el consumo del agua y su calidad debería ser alta y positiva, al trasladar al consumidor la calidad del producto consumido, pero tampoco ha sido así. Así pues, parece que el nivel de calidad del agua no es un criterio relevante en la fijación de las tarifas.

La discusión planteada en los dos párrafos anteriores se puede enmarcar en un contexto de información asimétrica. Los resultados obtenidos, junto con la falta de transparencia en la información sobre los sistemas de precios, pueden hacer pensar que los criterios determinantes en el diseño de la estructura tarifaria para el consumo del agua sean otros, como el presupuestario, que tendría por objeto alcanzar una determinada recaudación que permitiese recuperar los distintos tipos de costes que la Administración considere oportunos. Dado que no existen datos estadísticos publicados sobre los ingresos efectivos que genera la aplicación de las cuotas tarifarias en los distintos municipios, no es posible comprobar el comportamiento de estas estructuras de precios, que podrían poner de manifiesto la veracidad de la sospecha del fin recaudatorio de las mismas, y justificar su no relación con la calidad y con el efecto disuasorio hacia los consumos más elevados.

Por último, y a la vista de los resultados de esta investigación, se podrían plantear algunas recomendaciones a los agentes que tienen, en el ámbito de la Confede-

ración Hidrográfica del Júcar, la responsabilidad de tomar decisiones sobre el diseño y aplicación de los sistemas tarifarios referentes al consumo de agua: una mayor transparencia informativa sobre la estructura tarifaria (que sea comprensible para el consumidor o usuario), con unos precios que tengan en cuenta tanto la cantidad consumida (precios crecientes conforme aumente el consumo) como la calidad del agua (mayores precios cuanto menor sea el nivel de calidad inicial del agua, lo que exigiría mayores costes de tratamiento de potabilización).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBERÁN, R.; COSTA, A. y ALEGRE, A. (2008): "Los costes de los servicios urbanos del agua. Un análisis necesario para el establecimiento y control de tarifas". *Hacienda Pública Española / Revista de Economía Pública*, 186, pp. 123-155.
- BARREIRO, J. y PÉREZ, L. (2006): "Beneficios sociales en la mejora de la calidad del agua: una aproximación a partir de los costes defensivos de los hogares". *Estudios de Economía Aplicada*, 24-1, pp. 453-476.
- BEAMONTE, E.; BERMÚDEZ, J.; CASINO, A. y VERES, E.J. (2004): "Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana". *Estadística Española*, 156, pp. 357-384.
- BEAMONTE, E.; BERMÚDEZ, J.; CASINO, A. y VERES, E.J. (2005): "A global stochastic index for water quality: the case of the river Turia (Spain)". *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 10, pp. 424-439.
- BEAMONTE, E.; BERMÚDEZ, J.; CASINO, A. y VERES, E.J. (2006): "Medición de la calidad del agua del trasvase del Ebro (tramo Castellón-Mijares): valoración del coste económico asociado a la adecuación de calidades". *Estudios de Economía Aplicada*, 25-2, pp. 573-586.
- BEAMONTE, E.; CASINO, A. y VERES, E.J. (2010): "Water quality indicators: comparison of a probabilistic index and a general quality index. The case of the Confederación Hidrográfica del Júcar (Spain)". *Ecological Indicators*, 10, pp. 1049-1054.
- BORDALO, A.A. y SAVVA-BORDALO, J. (2007): "The quest for safe drinking water: An example from Guinea-Bissau (West Africa)". *Ecological Indicators*, 41, 2978-2986.
- CHAPMAN, D. (1992): *Water Quality Assessments. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Londres: Chapman & Hall.
- GONZÁLEZ, F. (2005): "El precio del agua en las ciudades. Reflexiones y recomendaciones a partir de la Directiva 2000/60/CE". *Ciudad y Territorio. Estudios territoriales*, XXXVII-144, pp. 305-320.
- GRAÇA, M.A.S. y COIMBRA, C.N. (1998): "The elaboration of indices to assess biological water quality. A case study". *Water Research*, 32, 380-392.
- ICAGA, Y. (2007): "Fuzzy evaluation of water quality classification". *Ecological Indicators*, 7, pp. 710-718.
- LERMONTOV, A.; YOKOYAMA, L.; LERMONTOV, M. y MACHADO, M.A.S. (2009): "River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil". *Ecological Indicators*, 9, pp. 1188-1197.
- MARCHINI, A.; FACCHINETTI, T. y MISTRI, M. (2009): "F-IND: A framework to design fuzzy indices of environmental conditions". *Ecological Indicators*, 9, pp. 485-496.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2000): *Libro Blanco del Agua*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

- MOLINA, A. (2001): *El servicio público de abastecimiento de agua en poblaciones. El contexto liberalizador*. Valencia: Tirant lo Blanc.
- POCH, M. (1999): *Las calidades del agua*. Barcelona: Rubes Editorial, S.L.
- PRAT, N. y MUNNÉ, A. (2000): "Water use and quality and stream flow in a Mediterranean stream". *Water Research*, 34, pp. 3876-3881.
- PROVENCHER, M. y LAMONTAGNE, M.P. (1977): *Méthode de détermination d'un indice d'appréciation de la qualité des eaux selon différentes utilisations*. Québec: Ministère de Richesses Naturelles.
- SAID, A.; STEVENS, D.K. y SEHLKE, G. (2004): "Environmental assessment. An innovative index for evaluating water quality in streams". *Environmental Management*, 34, pp. 406-414.
- SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M.F.; VICENTE, J.; RUBIO, A.; GARCÍA, M.G.; TRAVIE-SO, L. y BORJA, R. (2007): "Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution". *Ecological Indicators*, 7, pp. 315-328.
- SEVILLA, M.; MELGAREJO, J.; LÓPEZ, J. y TORREGROSA, T. (2002): *Los precios del agua de abastecimiento urbano al sur de la Comunidad Valenciana*. Murcia: XXVIII Congreso de la Asociación Española de Ciencia Regional.
- SIMÕES, F.S.; MOREIRA, A.B.; BISINOTI, M.C.; GIMÉNEZ, S.M.N. y YABE, M.J.S. (2008): "Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies". *Ecological Indicators*, 8, pp. 476-484.
- VELÁZQUEZ, E.; CARDENETE, M.A. y HEWINGS, G.J.D. (2006): "Precio del agua y relocalización sectorial del recurso en la economía andaluza. Una aproximación desde un modelo de equilibrio general aplicado". *Estudios de Economía Aplicada*, 24-3, pp. 1043-1060.