

La gestión del agua y el uso de contadores individuales en el área metropolitana de Sevilla.

Autores:

José I. Castillo-Manzano (jignacio@us.es). *Universidad de Sevilla*

Lourdes López-Valpuesta (lolopez@us.es). *Universidad de Sevilla*

Manuel Marchena Gómez. *Universidad de Sevilla*

Diego J. Pedregal (diego.pedregal@uclm.es). *Universidad de Castilla-LaMancha*

Resumen:

Responsabilizar a los individuos de su propio consumo doméstico de agua es una de las medidas utilizadas para reducir la creciente demanda de este recurso y conseguir un consumo sostenible compatible con el objetivo de equidad. La utilización de contadores individuales, en lugar de colectivos, o la tarificación por habitante y no por vivienda son dos medidas encaminadas a conseguir dichos objetivos. En esta ponencia, se evalúan estas medidas aplicadas en el área metropolitana de Sevilla en las dos últimas décadas mediante un modelo de componentes no observables.

Palabras Clave: Gestión del agua; Equidad; Contadores Individuales; Modelo de componentes no observables.

1. Introducción.

En general, la oferta de agua, tan importante para el ecosistema como para la población, se ve amenazada por una cada vez mayor demanda provocada por el crecimiento de la población, la urbanización, la industrialización y el aumento en el nivel de vida. Ante un panorama negativo caracterizado por la escasez del agua como recurso, la competencia por el uso de agua para la agricultura, la industria, los hogares y las reivindicaciones medioambientales, se plantea la necesidad de definir actitudes respecto al agua. En este sentido, para muchos expertos, los conflictos del agua no son causados por la escasez física de la misma, sino que son debidos a una inadecuada gestión del agua por el hombre (Aldaya et al. 2010).

Respecto a las políticas aplicadas en la gestión del agua, parece que en este principio de siglo, ha habido un cambio en el tratamiento, pues las políticas de demanda se han impuesto a la tradicionales políticas de oferta (Arbués et al. 2003; Barberán y Arbués 2009). En general, las medidas de gestión de demanda se centran en programas de concienciación, medidas para fomentar la conservación y penalizar el despilfarro, incluyendo la mejora de contadores, o la reestructuración de las tarifas.

Respecto a la primera medida, la concienciación y la educación para la conservación del agua, es una medida destacada pero suele tener efectos a largo plazo pues todos los cambios voluntarios en el comportamiento de los usuarios no son inmediatos. Por el

contrario, las dos últimas medidas citadas, los cambios en la estructura tarifaria o la mejora de los contadores, son más inmediatas. Por ello, analizar las consecuencias de estas dos medidas sobre el consumo doméstico de agua se convierte en el objetivo de nuestro trabajo. El análisis de estas medidas se estudia en el ámbito del área metropolitana de Sevilla. El caso de Sevilla, dado su clima, muy caluroso en verano, y sus problemas de sequías recurrentes, ha sido analizado en diversos trabajos (Del Moral-Ituarte y Giansante 2000; Martínez-Espiñeira y Nauges 2004; García-Valiñas 2006). Este trabajo complementa los anteriores desde una óptica completamente original, tanto en el problema que busca resolver como en la metodología empleada. Concretamente, se estudia la evolución del consumo doméstico de agua en Sevilla en las dos últimas décadas y se evalúan las políticas de demanda desarrolladas por la empresa municipal de abastecimiento de aguas de Sevilla (EMASESA) durante este tiempo. De esta forma, nos centramos en la evaluación de dos políticas como son la ayudas a la individualización de contadores domésticos, también conocida como Plan Cinco, así como las reformas tarifarias propuestas en los últimos años.

Ambas medidas, contadores y tarifas, están muy relacionadas. Centrándonos en la estructura tarifaria, ésta es considerada para algunos autores (Arbués et al. 2003), como el principal instrumento para el control de la demanda. Sin embargo, no hay consenso sobre la mejor estructura de precios, ya que el sistema ideal dependerá, en cada caso, de las características de la población, preferencias de los usuarios, así como de los objetivos específicos de las autoridades (Barberán y Arbués 2009). Estos objetivos son, principalmente, tres, eficiencia, recuperación de costes y equidad (Dandy et al. 1997; Montginoul 2007) aunque Arbués et al. (2003) y Barberán y Arbués (2009) también recuerdan otros objetivos como la eficiencia medioambiental, la simplicidad, la transparencia y la aceptación del público. Los gestores en general intentan alcanzar estos objetivos simultáneamente aunque el peso dado a cada uno depende del contexto económico, social y medioambiental (Montginoul 2007).

En el área metropolitana de Sevilla, la justicia y la equidad han sido los principios rectores en los que dice basarse EMASESA para definir su sistema tarifario. Actualmente, la tarifa del agua está dividida en una cuota fija más otra variable, distribuida esta última en tres bloques con precio progresivo, como recomienda la mayor parte de la literatura académica para alcanzar simultáneamente los objetivos de equidad y eficiencia (Whittington 1992; Arbués et al. 2003; Montginoul 2007; Barberán y Arbués 2009). Además, la facturación por bloques se establece en función del número de personas empadronadas en cada vivienda. De esta forma se busca aplicar unas tarifas plenamente justas que reflejen el comportamiento real de cada vivienda.

Sin embargo, esta estructura tarifaria actual se ha ido construyendo progresivamente en el periodo temporal objeto de nuestro estudio, con el objetivo de evitar los problemas que las tarifas progresivas pueden ocasionar en la facturación en los casos de hogares con un elevado número de miembros o en edificios con contadores colectivos. A finales de los noventa, en Sevilla, se partía de dos tramos progresivos, considerando que el consumo máximo del bloque básico se correspondía con un hogar formado de cuatro miembros. En el año 2000 se introduce que este límite superior varíe en función del número de personas empadronadas, ya sea en viviendas con contadores individuales o colectivos. Y en la segunda mitad de la primera década del siglo XXI se mejora la progresividad, aumentando los tramos de consumo a tres, y se avanza sustancialmente en la facturación por habitante de forma que en la actualidad la facturación está en función

del número de personas residentes en una vivienda, lo que favorece el ahorro y penaliza el despilfarro. El inicio de esta nueva filosofía se puede marcar en el año 2006, al asociar la bonificación de los consumos domésticos en el bloque básico al número de habitantes reales empadronados en la vivienda. Algunos de estos cambios han sido analizados en Arbués y Barberán (2012), llegando a la conclusión de que Sevilla fue una de las pocas capitales españolas donde estas medidas para adaptar el consumo de agua al número de personas por vivienda consiguieron mejorar la equidad.

Como complemento a esta reforma tarifaria y para insistir en el objetivo de responsabilizar a los ciudadanos del consumo efectivo de su hogar familiar, en 1997 se inició el Plan Cinco para favorecer el cambio de los contadores colectivos de las comunidades de propietarios por contadores individuales. En el área metropolitana servida por EMASESA, una gran parte del consumo doméstico se realiza en inmuebles con contador general de la comunidad, resultando difícil la aplicación de los tramos y consecuentemente las bonificaciones. La generalización de los contadores colectivos supone un incentivo perverso al mayor consumo de agua, pues favorece a los que más consumen y perjudican a los que menos, porque todos pagan lo mismo. Esta afirmación parte de la hipótesis de que si el coste marginal de un consumo adicional de agua por parte de un vecino se reparte entre todas las economías domésticas que conviven en la misma comunidad de vecinos, el consumo per cápita de agua se incrementa ya que la factura de agua no depende de tu consumo sino del conjunto de personas con las que compartes el contador. Esta hipótesis es similar a la que es ampliamente aceptada en la hostelería de que un grupo de personas consume de media significativamente más de lo que consumiría cada uno de los individuos que lo conforma si estuviera sólo (De Castro y De Castro 1989), regularidad que parece confirmarse hasta en los ambientes menos habituales, como puede ser un aeropuerto (Castillo-Manzano 2010).

En este comportamiento hay ciertas connotaciones socio-psicológicas y de comportamiento que deben ser tenidas en cuenta en la gestión de la demanda de agua por parte de las autoridades (Gregory y Di Leo 2003). En nuestro caso, el uso de contadores individuales tiene un componente psicológico importante pues la conservación del agua es más evidente cuando los individuos perciben que los demás usuarios están también adoptando medidas para la conservación del agua (Berk et al. 1980; Jorgensen et al. 2009). Es decir, si una persona ve, o simplemente supone, que sus vecinos están derrochando este recurso, esto lleva consigo una desmotivación y sus esfuerzos en la conservación del agua, o cualquier otro recurso, serán menores y por tanto, su consumo aumentará (Corral-Verdugo et al. 2002). Estaríamos ante un caso de la Tragedia de los Comunes y por tanto, una sobreexplotación de los recursos hídricos.

A finales de los noventa, Del Moral-Ituarte y Giansante (2000) consideraban que, aunque el cambio de contadores individuales a colectivos en Sevilla podía conseguir notable ahorros de agua, su instalación estaba siendo muy lenta. Por tanto, doce años después, puede analizarse empíricamente la influencia de esta medida, junto con los cambios, antes comentados, introducidos en la estructura tarifaria. Además, ambas medidas serán evaluadas con un robusto modelo econométrico de series temporales, para superar la idea de que mientras las políticas de agua por el lado de la oferta están normalmente examinadas rigurosamente con un análisis coste-beneficio, no ocurre lo mismo con las alternativas conservacionistas o de demanda, que no son analizadas con el mismo rigor (Pumphrey et al. 2008).

2. Datos.

El modelo que se aplica para analizar el impacto de la implantación de la política de individualización de contadores en el consumo de agua así como los cambios en la estructura tarifaria en Sevilla es un modelo de componentes no observables y funciones lineales de transferencia. Sin embargo, es imposible estudiar los efectos de esta política si no contamos con un binomio modelo econométrico/variables explicativas lo suficientemente potente como para poder corregir la evolución del consumo doméstico por el conjunto de variables y tendencias que inciden sobre el mismo.

Para ello, la información estadística de que disponemos es un conjunto de series temporales que van desde enero de 1995 a septiembre de 2010, ambos meses incluidos. Toda la información son datos primarios que proceden de diferentes instituciones y empresas públicas como es el caso de EMASESA o el Instituto Nacional de Estadística. De esta forma, trabajaremos con el siguiente conjunto de variables:

A. La variable endógena es el consumo de agua medio diario por cada mil habitantes en el área metropolitana de Sevilla para usos domésticos en un determinado mes. Al ser una variable de consumo diario ya se encuentra corregida por el número de días que ha tenido cada mes, incluyendo obviamente la corrección a 29 días en los febreros de los años bisiestos. También se ha corregido por la población de cada valor de la serie, según hayan evolucionado los municipios del área metropolitana suministrados por EMASESA. En resumen, esta variable es un cociente del consumo total doméstico del mes t entre el número de días naturales reales de dicho mes y la población total suministrada por EMASESA en ese periodo.

B. Las variables exógenas are las siguientes:

B.1) Las variables exógenas dummies:

B.1.1) Pascua: el conocido como efecto Pascua. Se trata de captar si durante la celebración de la Semana Santa se produce una variación en el consumo de agua doméstico. A priori, dada la importancia de la Semana Santa en nuestra ciudad, como fiesta mayor que es, es de esperar un incremento en el consumo de agua doméstico, aún más si tenemos en cuenta la labor de acogida que en dicha semana suelen realizar muchos hogares sevillanos de familiares y amigos que no son residentes el resto del año en los mismos. Además, el alto número de días festivos en dicha semana aumenta el número de ocupantes medios que durante esos días tienen los hogares sevillanos. En nuestro caso se ha optado por dar un mayor peso a los días principales de la citada semana como el Domingo de Ramos o el Jueves y Viernes Santo.

B.1.2) Laborables: número de días laborables del mes. A diferencia de otros campos de investigación donde el efecto de esta variable es más claro, a priori no es sencillo deducir el sentido de la causación entre esta variable explicativa y la variable dependiente objeto de estudio. Por un lado, se puede esperar que el consumo de agua doméstica fuera de media más elevado en los días laborables, por todas las labores de aseo personal y doméstico asociadas a los mismos. O, por otro lado, se puede esperar que el consumo doméstico en días festivos fuera superior al de los días laborales, porque obviamente en dichos días el número de habitantes medio durante todo el día de

los hogares se incrementa. Esta variable de días laborales se construye como el número de días laborables menos 5/2 veces el número de días no laborables.

B.1.3) Sequías: esta variable recoge las reservas de agua de los embalses suministradores de Sevilla, expresadas en tanto por ciento sobre el total de capacidad de los mismos. Esta variable permite ver si las sequías, o la posibilidad de que éstas se den en el futuro, producen una mayor sensibilización de la población respecto al consumo de agua. En algunos casos estudiados, las sequías provocaron cambios de actitud de los residentes en su apreciación del valor del agua que influiría en un mayor nivel de responsabilidad en el futuro (Aini et al. 2001).

El área metropolitana de Sevilla ha sufrido numerosas sequias a lo largo de su historia. Desde de los años setenta hasta mediados de los noventa se pueden citar tres periodos de sequías (1974-76, 1981-83 y 1992-95), analizadas por la literatura académica (Del Moral-Ituarte y Giansante 2000; García-Valiñas 2006). Nuestro análisis, más reciente, considera los periodos posteriores de sequías, concretamente:

- a) Desde mayo de 1999 a diciembre de 2000.
- b) Desde septiembre de 2005 a octubre de 2006.
- c) Desde agosto a diciembre de 2009.

De todas formas, se ha considerado no sólo la sequía sino el posible riesgo de la misma, es decir, se ha considerado como periodo de crisis hidráulica de forma genérica y laxa cuando las reservas de agua embalsada bajan por debajo del 60% y el final se marca con un ascenso por encima de ese umbral. Por otra parte, y tras numerosas estimaciones, se ha comprobado que existe un desfase de dos meses para que la sequía afecte al consumo de agua. En particular, durante la sequía del año 2000 el nivel mínimo de las reservas de agua embalsada alcanzó el 36,2%. La sequía siguiente se extiende desde septiembre de 2005 a Octubre de 2006, con un nivel mínimo de agua embalsada, sensiblemente superior, concretamente del 45,5%. La última aún fue menos severa y duró sólo de agosto a diciembre de 2009, situándose el nivel de agua embalsada mínimo en 47,7%. De hecho, técnicamente no se puede hablar de sequía en las dos últimas crisis hidráulicas ya que no hubo bando municipal que las declarara como tal (aunque sí se declaró una alerta por sequia en julio de 2005). Sin embargo, al ser dos periodos atípicos en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos, su presencia claramente enriquece el análisis.

Desde el punto de vista econométrico, el efecto de las posibles sequías o, en general, las disminuciones significativas en el volumen de agua embalsada ha sido tratado mediante variables dummies tipo escalón en los meses de sequía.

B.1.4) Existen otros efectos puntuales que afectan al consumo de agua de forma esporádica y que se detectan de forma empírica por métodos estadísticos. La detección automática de atípicos en la variable dependiente es una de las fortalezas de este modelo. Dicha detección nos permite recoger toda una serie de variables que a priori no han sido contabilizadas por los investigadores pero que de forma específica afectaron en uno o más meses al consumo de agua doméstica. En este sentido, se tendrá en cuenta cualquier evento que alterara el normal devenir de la ciudad o su área metropolitana, como por ejemplo un cambio atípico en las condiciones meteorológicas para la época del año de un determinado mes, que obligará a cambios significativos en los hábitos de consumo de agua de los ciudadanos. También nos permite incluir cualquier

eventualidad técnica que pudiera haber afectado, positiva o negativamente, al consumo de agua doméstico durante dicho periodo. En cualquier caso será el proceso de detección automática de atípicos el que nos diga la duración y forma de dicha eventualidad, para de esta forma construir una variable dummy.

C) Actividad económica en Sevilla: para recoger el efecto del ciclo económico en el consumo de agua, se ha utilizado la tasa de paro en la provincia de Sevilla como una aproximación. De nuevo, tenemos una variable que aunque debería afectar a la evolución de la variable endógena, es decir, al consumo de agua doméstica, no estaría claro el sentido de dicho efecto. A priori es de esperar una correlación económica negativa entre la tasa de paro y la renta disponible de las economías domésticas, de forma que cuanto menor sea la primera mayor será la segunda. Esta variable, la renta, ha sido un factor considerado habitualmente en los modelos de consumo de agua (Dandy et al. 1997; Gaudin 2006), aunque no es fácil determinar la correlación, positiva o negativa, con el consumo de agua doméstico. Incluso, para algunos autores como Musolesi y Nosvelli (2011) o Martínez-Espiñeira y Nauges (2004), la renta no es significativa para explicar el consumo de agua. Para algunos estudios, la elasticidad renta del consumo de agua es positiva (Nauges y Thomas 2000; Domene y Saurí 2006), ya que los hogares con mayor nivel de renta tienden a un mayor consumo (Yoo 2007) mientras que los hogares con menos renta usan menos agua porque disponen de menos electrodomésticos o jardines (Whittington 1992). Es decir, la mayor renta de las economías domésticas llevará aparejado nuevas demandas de servicios intensivos en agua como pueden ser las bañeras hidromasajes en el interior de la casa, mientras que en el exterior se manifestará una mayor predilección por una piscina o jardines. Esta última demanda se hará más presente en muchas de las urbanizaciones de municipios cercanos a Sevilla, que han aumentado en el último boom inmobiliario, y donde la empresa suministradora también es EMASESA. Otros efectos positivos que sobre el consumo de agua doméstica lleva aparejado el ciclo económico, como es el aumento de la natalidad y por tanto, el incremento de las necesidades de agua en los hogares, ya se han corregido de forma automática en la definición de la variable endógena en términos per cápita. Sin embargo, por otro lado, una mayor renta disponible por parte de las economías domésticas puede llevar implícito un acceso de estos hogares a nuevos bienes, desde griferías a electrodomésticos, que junto a un mejor diseño o prestaciones, llevarán aparejado un consumo cada vez más eficiente de electricidad y agua, repercutiendo en un menor consumo final de agua dentro del hogar. De esta opinión son Campbell et al. (2004), que consideran que ahorrar agua supone tener que invertir dinero en reparaciones o dispositivos de ahorro.

En resumen, a priori no es tan sencillo estimar cual será el sentido del coeficiente que relaciona esta variable explicativa, la evolución del ciclo económico, con la variable endógena.

D) Contadores: esta variable mide el número de contadores por edificio. Concretamente es el ratio entre el número de contadores totales que había cada mes en el conjunto de municipios sevillanos suministrados por EMASESA y el número de viviendas totales en los mencionados municipios, expresado en tanto por ciento. En Sevilla, el número de contadores por edificio ha seguido una evolución constante positiva y creciente debida a múltiples factores como la política de promoción de EMASESA para la individualización de contadores (Plan Cinco), las nuevas ordenanzas municipales de construcción que obligan al empleo de contadores individuales para

cada vivienda en todo bloque de pisos, así como al florecimiento de viviendas unifamiliares en las ciudades dormitorio de Sevilla, antes comentado. Esta multitud de factores, donde destacan los dos primeros, impiden que nuestra variable pueda testar de forma singular los efectos concretos de la política de individualización de contadores pero sí nos sirve para testar fehacientemente el principio fundamental que impulsa esta política, es decir, que el responsabilizarse de consumo propio mediante el uso de contadores individuales contribuye al ahorro de agua. Por ello, a priori, es de esperar que el consumo de agua descienda a medida que el número de contadores aumente. En un mundo ideal, donde el individuo mantuviera una conducta social óptima y en todas sus decisiones evitara cualquier posible externalidad negativa sobre sus vecinos, esta variable explicativa sería no significativa.

E) Tarifa: como se ha comentado en la introducción, el precio y la estructura tarifaria influyen en el consumo de agua doméstico. Por tanto, se ha considerado el efecto de la nueva filosofía tarifaria como una variable dummy artificial tipo escalón desde enero de 2006.

La evolución temporal de las principales variables se muestra en la Figura 1.

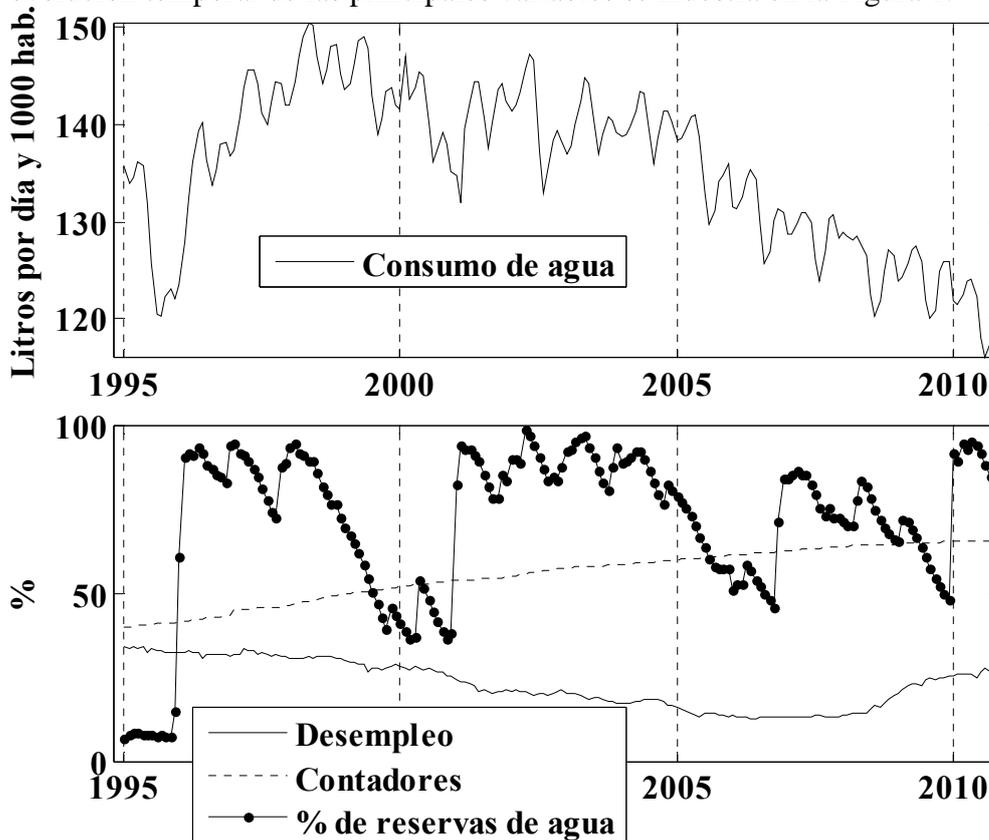


Fig. 1: Panel superior: consumo medio diario de agua por cada 1000 habitantes en Sevilla. Panel inferior: desempleo, porcentaje de contadores respecto al número de edificios, y porcentaje de reservas de agua en los pantanos que suministran a Sevilla.

Hay numerosos hechos que se pueden observar a simple vista en la Figura 1. En primer lugar, llama la atención que el consumo de agua, que inicialmente es muy bajo, experimenta un rápido ascenso y una paulatina reducción a lo largo de todo el período considerado. De hecho, al final del período, el consumo de agua es inferior al inicio de la muestra. Es evidente que el consumo inicial tan bajo se debe, sobre todo, a la sequía

muy severa que sufrió la ciudad en el periodo 1991-1995, coincidiendo con una grave crisis económica, en la que hubo cortes en el suministro de agua de forma sistemática y en la que empezó a constatarse un cambio importante en los hábitos de consumo de los sevillanos. Concretamente, 1995 fue el año más seco de todo el siglo XX y el último de esos años de sequía. Es evidente que tras dicho periodo de sequía se volvió a disparar el consumo de agua como muestra la Figura 1, lo que nos permite descartar cualquier hipótesis de que, per se, tras un periodo de crisis de recursos hídricos como esa gran sequía, se mantienen los hábitos saludables de consumo adquiridos por los ciudadanos. No debemos olvidar que estos hábitos se consiguieron en gran medida de forma coercitiva debido a los frecuentes cortes de suministro y a las amenazas de sanciones por consumo excesivo.

Este efecto inicial resulta bastante ilustrativo de lo que sucede en un periodo de fuerte sequía. Sin embargo, es muy distorsionador por tratarse del inicio de la muestra. Por ello, en el estudio econométrico posterior se eliminarán los tres primeros años, comenzando en enero de 1998, cuando el consumo se había recuperado tras este importante shock adverso.

En segundo lugar, la evolución creciente del porcentaje de contadores hace pensar que esta variable es, en gran medida, responsable de la caída sistemática del consumo a lo largo de todo el período. Finalmente, a simple vista, se puede observar que los periodos de crisis por disminución de la cantidad de agua embalsada han sido más cortos en el tiempo y menos severos a medida que nos acercamos a la actualidad.

3. Metodología.

La naturaleza de los datos, series temporales, que se disponen para el estudio y el tipo de relaciones entre las variables, hacen que los modelos de componentes no observables resulten idóneos. Dichos modelos permiten la descomposición de una serie temporal en un conjunto de partes que no se pueden observar directamente, pero que tienen una interpretación económica inmediata, como la tendencia, el componente estacional o el componente irregular. Una formulación general de estas especificaciones se recoge en (1) (ver Harvey 1989 o Pedregal y Young 2002 para una explicación ampliada).

$$z_t = T_t + S_t + f(\mathbf{I}_t) + v_t \quad (1)$$

En la ecuación (1) z_t representa el consumo de agua, T_t es la tendencia o comportamiento a largo plazo, S_t es el componente estacional, $f(\mathbf{I}_t)$ mide la relación entre las variables exógenas \mathbf{I}_t y el consumo de agua, y v_t es el componente irregular que se supone que es una variable completamente aleatoria con distribución gaussiana, es decir, media cero, varianza constante y completamente independiente en el tiempo.

La ecuación (1) es en realidad la llamada "ecuación de observación" de un sistema de Espacio de los Estados, que tiene que ser completada mediante las "ecuaciones de estados", que reflejan la dinámica de cada uno de los componentes. Las ecuaciones completas se recogen en la ecuación (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tendencia:} \\ \text{Estacional:} \end{array} \right. \begin{cases} \begin{pmatrix} T \\ F \end{pmatrix}_{t+1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T \\ F \end{pmatrix}_t + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_0 \\ w'_0 \end{pmatrix}_t \\ S_t = \sum_{i=1}^6 S_i ; \quad i=1,2,\dots,6 \\ \begin{pmatrix} S_i \\ S'_i \end{pmatrix}_{t+1} = \begin{pmatrix} \cos \omega_i & \sin \omega_i \\ -\sin \omega_i & \cos \omega_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_i \\ S'_i \end{pmatrix}_t + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_i \\ w'_i \end{pmatrix}_t, \quad \omega_i = \frac{2\pi i}{12} \end{cases} \quad (2)$$

La ecuación dinámica de la tendencia requiere la existencia de una variable artificial adicional (F_t), que resulta ser la pendiente de dicha tendencia y depende de dos ruidos que son puramente aleatorios con media cero y varianza constante. El componente estacional es una suma de señales sinusoidales en la frecuencia fundamental correspondiente al período anual (12 observaciones por año) y sus 5 armónicos (es decir, 6, 4, 3, 2.4 y 2 observaciones por año). También depende de 12 ruidos aleatorios con las propiedades habituales.

La parte del modelo que refleja la relación con las variables exógenas son términos lineales como los que se muestran en la ecuación (3).

$$f(\mathbf{I}_t) = \omega_i I_{i,t} \quad (3)$$

$I_{i,t}$ ($i=1,2,\dots,k$) son las variables exógenas y ω_i ($i=1,2,\dots,k$) son los parámetros que habrá que estimar. La forma de espacio de los estados de este tipo de modelos no es muy complicada, puesto que en resumen se trata de modelos estáticos.

El modelo completo de la ecuación (1), junto con las ecuaciones de estado correspondientes se forma mediante la concatenación por bloques de los distintos sistemas en uno general, como el de la ecuación (4).

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x}_{t+1} = \Phi \mathbf{x}_t + \Gamma \mathbf{I}_t + \mathbf{E} \mathbf{w}_t : \quad \text{Ecuaciones de Estado} \\ z_t = \mathbf{H} \mathbf{x}_t + \mathbf{D} \mathbf{I}_t + v_t : \quad \text{Ecuación de observación} \end{array} \right. \quad (4)$$

A modo de ejemplo, la ecuación (5) muestra la forma de espacio de los estados de un modelo en el que existe una tendencia, uno de los armónicos del componente estacional y una variable exógena.

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{bmatrix} T \\ F \\ S_i \\ S'_i \end{bmatrix}_{t+1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \omega_1 & \sin \omega_1 \\ 0 & 0 & -\sin \omega_1 & \cos \omega_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ F \\ S_i \\ S'_i \end{bmatrix}_t + \begin{bmatrix} w_0 \\ w'_0 \\ w_i \\ w'_i \end{bmatrix}_t \\ z_t = [1 \quad 0 \quad 1 \quad 0] \begin{bmatrix} T \\ F \\ S_i \\ S'_i \end{bmatrix}_t + \mathbf{D} \mathbf{I}_t + v_t \end{array} \right. \quad (5)$$

Las matrices del sistema (5) correspondientes al sistema (4) general (Φ, Γ, E, H, D, Q y R) se pueden hallar comparando ambos sistemas. Los parámetros de los que depende el sistema (5) son las varianzas de todos los ruidos y la matriz D (escalar en el ejemplo particular 5).

Dado el modelo general, el Filtro de Kalman (FK, Kalman, 1960) produce las estimaciones óptimas de la media y varianzas del vector de estados, condicionados a toda la información disponible hasta el momento t , en el sentido de minimizar el error cuadrático medio. En paralelo con el FK se utiliza normalmente el algoritmo de suavizado de intervalo fijo (FIS según las siglas inglesas), que realiza una operación similar, pero con toda la información de la muestra disponible.

Obviamente, la aplicación de estos algoritmos recursivos requiere el conocimiento de todas las matrices del sistema Φ, Γ, E, H, D, Q y R . Como parte de estas matrices no es conocida, se suele estimar por máxima verosimilitud, (ver detalles en Harvey, 1989 y Pedregal y Young, 2002).

4. Resultados.

El modelo que se plantea debe ser coherente con todo lo expuesto hasta el momento. Lo más relevante desde el punto de vista de la modelización será la relación del ratio de contadores con la tendencia del consumo de agua. Asimismo debe incluir el resto de variables consideradas en el epígrafe 2.

Con el fin de ver con claridad la relación concreta del consumo de agua en los hogares con el porcentaje de contadores, se ha realizado un análisis en tres pasos:

1. Formalización de un modelo en el que se estima la relación del consumo de agua con todas las variables exógenas y la relación con la variable Contadores se sustituye por una tendencia.
2. Examinar la relación entre la tendencia y la variable Contadores de forma aislada.
3. Incorporar la relación obtenida en el paso segundo en una estimación conjunta en el modelo 1. En dicha estimación final, la tendencia será sustituida por la relación observada en el paso anterior.

El modelo del paso primero es el que aparece como “Modelo inicial” en la segunda columna de la Tabla 1. De este modelo se deduce que hay un conjunto de variables que hemos considerado inicialmente que, en realidad, no son significativas. Se trata de los dos últimos periodos de escasez de 2005-2006 y 2009, el efecto Pascua, el efecto Laborable, y la Actividad económica de Sevilla, medida a través de la tasa de desempleo. El modelo parece adecuado puesto que los residuos son independientes (según los tests Q), gaussianos (test KSL) y con varianza constante (test H).

El modelo inicial también nos muestra que la sequía de 1999-2000 tuvo un efecto inicial en la reducción del consumo de agua de un 1.4%, que se intensificó hasta el 2.9% en el segundo tramo del período (el efecto se ha dividido en dos tramos basándonos en criterios estadísticos). Por su parte, el efecto de los cambios tarifarios a partir de enero de 2006 lleva a una reducción del consumo de agua en un 1.5%.

El filtro de Kalman y el algoritmo FIS proporcionan las estimaciones de los componentes, que se pueden ver en la Figura 2.

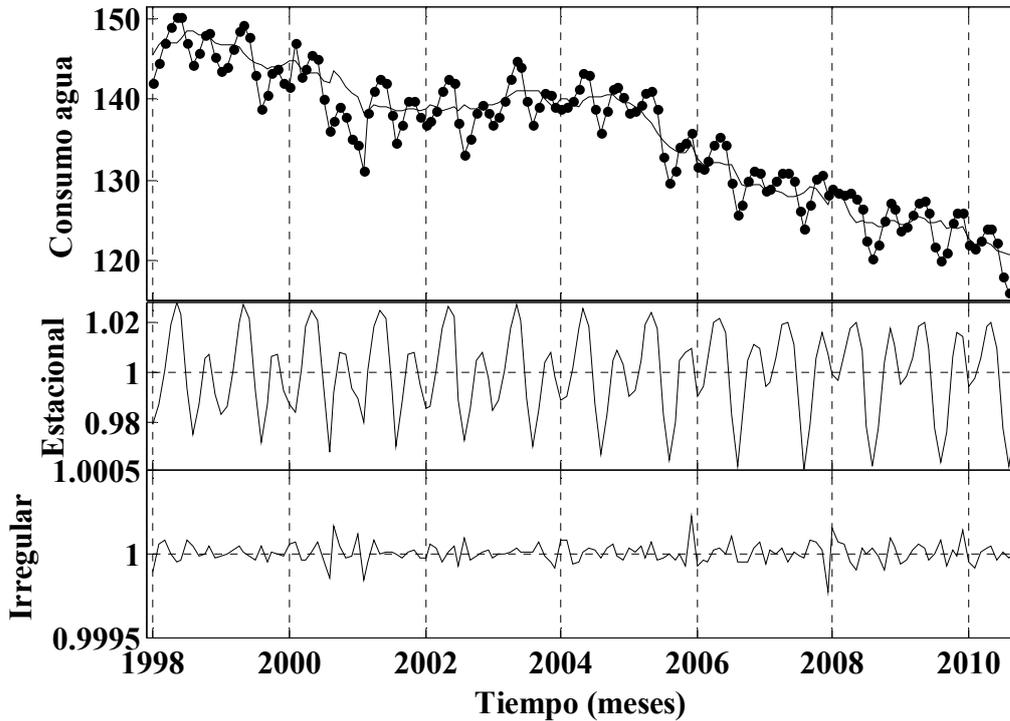


Fig. 2: Consumo de agua y componentes no observables: tendencia en el panel superior, estacional en el centro e irregular en el panel inferior (la descomposición es logarítmica).

Tabla 1: Resultados de estimación de modelos de componentes no observables.

	<i>Modelo inicial</i>	<i>Modelo final</i>
Pascua	-0.001	
Laborable	-0.000	
Actividad Económica	-0.000	
Sequía mayo1999- junio 2000	-0.014*	-0.018*
Sequía julio 2000-diciembre 2000	-0.029*	-0.036*
Sequía septiembre 2005- octubre 2006	0.000	
Sequía septiembre 2005-diciembre 2005		-0.025*
Sequía agosto 2009-diciembre 2009	0.002	
Constante		4.934*
Tarifa	-0.015**	-0.023*
Contadores		-0.307*
Contadores*Tarifa		-1.010*
AO2000.FEB	0.042*	0.043*

Tendencia, Pendiente	3.36, 0 ($\times 10^{-5}$)	
Ciclo (período, varianza)		29.97, 2.51×10^{-5}
Estacionales	0.67, 0.003, 0.002, 0.02, 0.003, 0.01	3.45, 0.57, 0.11, 0.03, 0.02, 0.06
Irregular	($\times 10^{-6}$) $6.30 (\times 10^{-8})$	($\times 10^{-7}$) $1.85 (\times 10^{-6})$
σ^2	5.13×10^{-5}	4.92×10^{-5}
SBC	-9.202	-9.278
Q(12)	8.576	11.00
Q(24)	23.804	18.02
KSL	0.068	0.057
	(0.123)	(0.329)
H	0.786	0.966
	(0.163)	(0.447)

Note: Uno y dos asteriscos implican significación de los coeficientes al 1% y al 5%, respectivamente. σ^2 es la varianza de los residuos; Q(l) es el test de autocorrelación Q de Ljung-Box con l retardos; KSL es el test de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors de normalidad (valores en paréntesis son las probabilidades críticas); H es un test de homocedasticidad de ratio de varianzas (valores en paréntesis son las probabilidades críticas).

El segundo paso en el proceso de modelización consiste en sustituir la tendencia por una función de la variable Contadores. La relación entre ambas se puede analizar mediante una nube de puntos entre ambas variables, mostrada en la Figura 3. Dicha figura sugiere que una regresión lineal entre la tendencia y Contadores por tramos puede representar adecuadamente la relación entre ambos. Además, habrá que añadir algún componente que tenga en cuenta las desviaciones que se producen entre una y otra. La regresión por tramos equivale, en este caso, a una regresión lineal con parámetros cambiantes en dos tramos de tiempo, siendo el momento de cambio a partir de enero de 2006. En ese momento confluyen tres factores en nuestro análisis, cuyos efectos se solapan. En julio de 2005 se produce una alerta de sequía, la cual no concluirá de forma clara hasta octubre de 2006 (ver figura 1). Y, a partir de 2006, los efectos de la sequía se mezclan con una clara voluntad de las autoridades por incrementar la implantación de contadores de agua individualizados (a juzgar por la evolución posterior) y el cambio de filosofía en el sistema tarifario, favoreciendo la facturación por habitante para racionalizar el consumo de agua. La coincidencia de estos factores en el tiempo nos llevó a considerar el efecto de la sequía de julio de 2005 solo hasta diciembre de ese año, puesto que no considerarlo implicaba dejar un claro escalón en los residuos. Dicho de otro modo, la sequía deja de ser relevante en el comportamiento del consumo de agua desde enero de 2006 porque entran en juego efectos que diluyen su influencia.

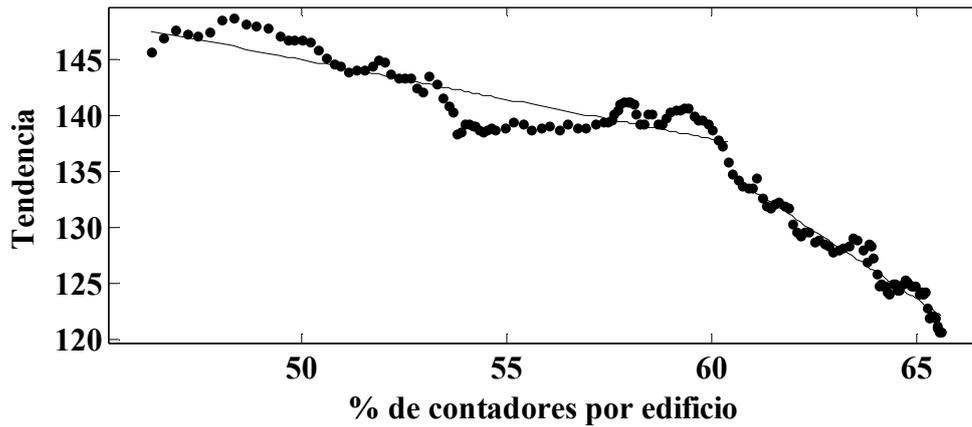


Fig. 3. Relación entre la tendencia del modelo inicial y el porcentaje de contadores por edificio.

El modelo final de la tabla 1 incluye necesariamente una serie de factores adicionales, que no se contemplaban en el modelo inicial. Las diferencias entre ambos es la sustitución de la tendencia del modelo inicial por los siguientes componentes:

1. Una constante que mide el nivel medio del consumo de agua en todo el período.
2. La influencia de los contadores individualizados en el consumo de agua, medido a través de su elasticidad, modificada por la interacción de esta variable con los cambios tarifarios (término Contadores*Tarifa en la tabla 1).
3. Un componente cíclico que recoge las desviaciones de la relación expuesta en la figura 3.

Los componentes del modelo final se muestran en la figura 4.

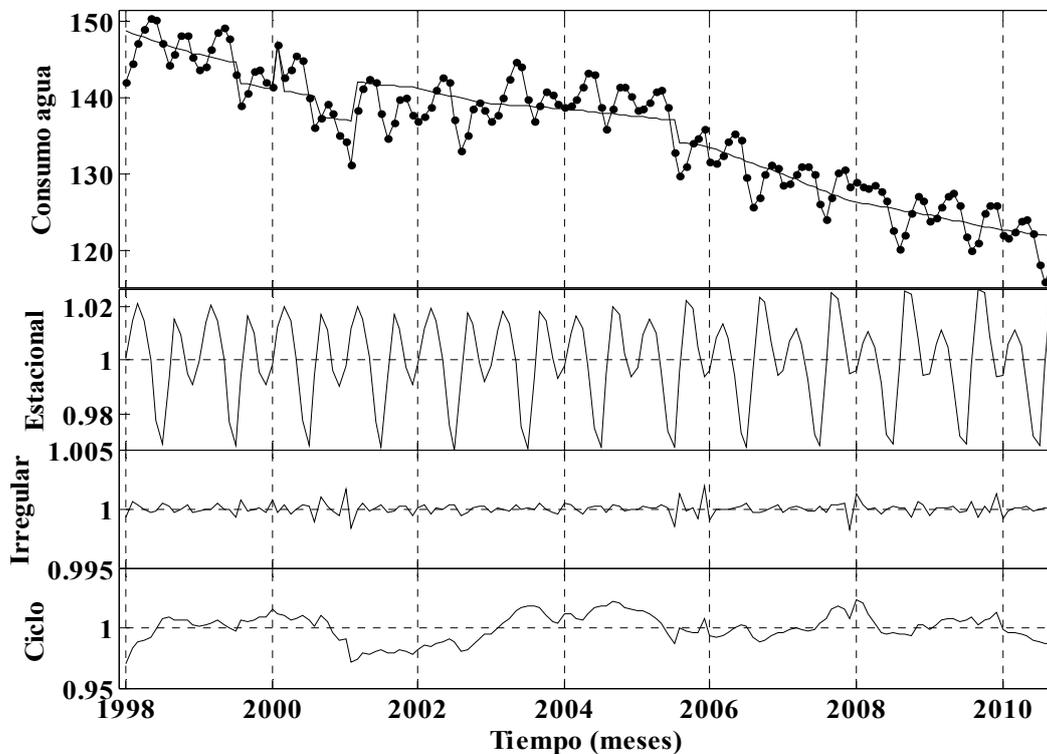


Fig. 4: Componentes del modelo final.

Debido a que el efecto de la tarifa es una variable tipo escalón, tomando el valor 1 a partir de enero de 2006, el efecto porcentual de los cambios que se empiezan a producir en las tarifas a partir de 2006 depende del término de interacción, es decir, el efecto total será $[\exp(-0.023)\text{CONTADORES}^{1.01} - 1] \times 100$. La elasticidad de los contadores respecto al consumo de agua es -0.307 antes de 2006, aumentado (en términos absolutos) hasta -1.317, probablemente por el cambio de filosofía en la definición de las tarifas y por encontrarnos en medio de un escenario de sequía. Es decir, si la variable Contadores varía en un 1%, el consumo de agua caería en un 1.317%¹. Y aunque el efecto inicial no es muy grande, 0,307%, su efecto acumulado durante todo el periodo es más que significativo. Concretamente, el 41,71% por ciento que ha aumentado el ratio de contadores por vivienda en este periodo (pasando del 0.4630 en enero de 1998 al 0.6561 en septiembre de 2010), sería responsable de la disminución de más de un 37.52% en el consumo de agua doméstica en ese periodo. Un efecto similar en la reducción del consumo se recoge en Nauges y Thomas (2000) para el caso de Francia.

Por último, hay que comentar que la eficacia marginal de la implantación de los contadores individualizados va decayendo a medida que nos acercamos al 100% de implantación, tal como indica la figura 5. La relación mostrada en esa figura puede ser una guía de la evolución esperada en la reducción del consumo de agua a medida que el porcentaje de contadores individualizados aumenta por edificio.

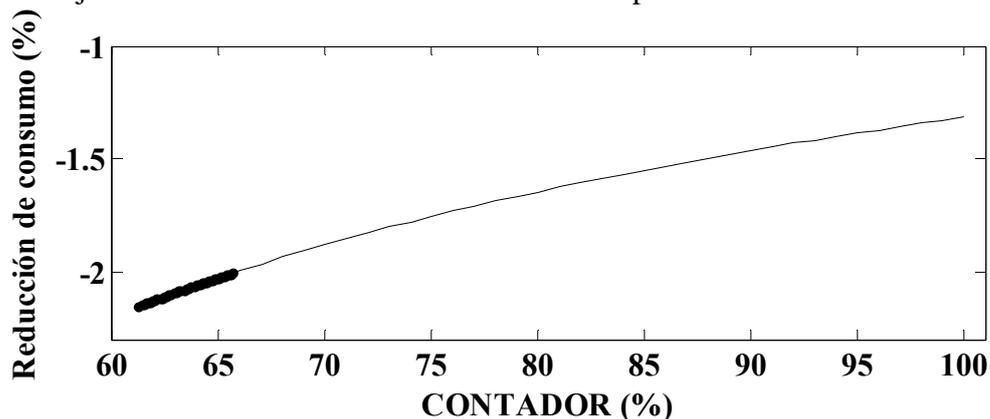


Fig. 5: Relación entre la reducción porcentual del consumo de agua y la implantación progresiva de contadores individualizados en porcentaje. El trazo más grueso se corresponde con la implantación realizada hasta finales de 2010.

5. Conclusiones.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la política pública municipal de fomentar la transformación de contadores colectivos o en batería en contadores individuales o familiares en Sevilla. Aunque dada la amplitud y variedad de la base de datos utilizada, se puede complementar dicho objetivo principal con una batería de objetivos secundarios. Entre estos objetivos secundarios, cabe destacar el análisis realizado sobre cómo han sido los comportamientos de los sevillanos ante situaciones de mayor escasez

¹ La variable Contadores es en sí una variable medida como porcentaje, por lo que un 1% de variación no significa que la variable cambie de, por ejemplo, 65% a 66%, que representaría un 1.54% $(66/65-1)$, sino de 65% a 65.65% $(65*1.01)$. Si se desea realizar la transformación en % de la variable Contadores original, dicha transformación es $-1.317/\text{Contadores} * 100$. Por ejemplo, pasar de 65% a 66% implica una caída del consumo de agua en un 2.03% $(-1.317/65*100)$.

de agua o la relación del consumo doméstico con el ciclo económico, la vida laboral y un gran evento en nuestra ciudad como es la Semana Santa.

Centrándonos en los periodos de menor pluviosidad y, por tanto de mayor emergencia, se pueden obtener las siguientes conclusiones. En primer lugar, los cambios de hábitos a los que los sevillanos se ven obligados ante estas circunstancias distan mucho de ser permanentes, ni siquiera se puede hablar de cambios a largo plazo. Buen ejemplo de ello es la gran sequía de 1992 a 1995, que provocó una gran reducción en el consumo doméstico, en parte voluntario, pero en gran medida también obligado debido a los frecuentes cortes de suministro. Como nos muestra la Figura 1, en el momento en que terminaron las restricciones, en enero de 1996, se disparó el consumo doméstico.

Otra prueba que habla de la futilidad de los cambios de hábitos debidos a las sequías, es que la mejor especificación de la variable que recoge los efectos de la última sequía declarada, 1999-2000, y de las situaciones más conflictivas posteriores, cuando la cantidad de agua embalsada bajó del 60 por ciento, siempre tiene forma de escalón. Es decir, que una vez que pasa la crisis el efecto se agota totalmente ya que el escalón deja de existir. Concretamente, en el modelo final, es significativa en su totalidad la crisis hidrológica de 1999-2000, sólo en sus primeros meses la de 2005-2006 y en ningún mes la del 2009. Esto parece indicarnos que para que haya un cambio efectivo en los hábitos de consumo de los sevillanos es necesario que se dé un binomio de circunstancias. Por un lado, tienen que estar los posibles problemas de suministro pero, además, se debe dar un llamamiento claro por parte de las administraciones competentes, en este caso el Ayuntamiento, para cambiar dichos hábitos. De esta forma, creemos firmemente que fue la alerta por sequía de junio de 2005 y, sobre todo, la declaración de sequía que realizó el Ayuntamiento en el 2000, unido a las campañas informativas y coercitivas para cambiar los hábitos de consumo, amenazando con multar a aquellos domicilios que no redujeran de forma efectiva su consumo respecto del año anterior, lo que provocó los cambios y no una mayor o menor sensibilización social respecto del problema. De hecho, el citado efecto escalón para 1999-2000 desaparece justo cuando el Ayuntamiento levanta el Bando de sequía. Mientras que en la crisis de 2009 no hubo ninguna declaración oficial de sequía, lo que podría justificar que no sea significativa.

Aún así, esta visión, no demasiado triunfalista sobre el comportamiento de los sevillanos en situaciones de crisis hídricas, debe complementarse con el hecho cierto de que actualmente el consumo doméstico per cápita es sensiblemente inferior a los mínimos que se alcanzaron en la última gran sequía de 1992 a 1995. Cuando las reservas de agua estaban en torno a un más que alarmante 7% y donde los propios cortes de agua condicionaban un obligado menor consumo. Explicar este drástico cambio se convierte en el gran objetivo de este trabajo.

En este sentido, llama la atención la no significatividad a la hora de explicar estos cambios de muchas de las variables introducidas en el análisis y, por tanto, la inconsistencia de muchas de las hipótesis formuladas a partir de las mismas. En primer lugar, destaca la falta de significatividad del ciclo económico a la hora de explicar el consumo doméstico. Aunque el principal efecto del ciclo económico sobre el consumo de agua, mediante el aumento de población asociado a épocas de bonanza, se había descontado por la propia definición de la variable dependiente, como consumo per cápita. Por otra parte, merece la pena señalar la falta de significatividad conjunta de las variables que buscan testar la hipótesis del diferente patrón de consumo durante los días

festivos frente de los laborables. Concretamente, nos referimos a la variable Laborable y a la variable Pascua, lo cual viene a describirnos que el hábito de consumo de los sevillanos es, de media, bastante uniforme durante todos los días de la semana independientemente de las actividades que realicen.

Por otra parte, según nuestro estudio, la elasticidad del consumo de agua ante la individualización de los contadores es significativamente negativa, aunque cambiante a lo largo del tiempo. Concretamente, se ha pasado de un consumo con una respuesta inelástica, al ser el efecto claramente menor al 1%, a una respuesta muy elástica en los últimos años. Este resultado es un excelente aval para continuar con estas políticas de individualización de contadores (como recomiendan Nauges y Thomas 2000), más aún, si tenemos en cuenta que toda reducción que se consigue por esta vía es permanente en el tiempo, no como las reducciones que se obtenían mediante medidas coercitivas en periodos de sequía.

Por otro lado, llama la atención que la elasticidad del consumo al uso de contadores individuales haya aumentado sensiblemente en los últimos años. Parte de este mayor efecto se podría deber a los cambios tarifarios que establecen el límite de consumo del bloque básico en función del número de habitantes empadronados en la vivienda. A primera vista, este principio parecería que sólo tendría que generar un incentivo para empadronarse. Aunque este trabajo considera que sí existe un determinado segmento de población en el que esta medida ha introducido incentivos claros al ahorro. Concretamente estaríamos hablando de aquellos hogares con cuatro o menos residentes. Al principio de nuestro periodo objeto de estudio, el límite máximo del bloque básico, si no se acreditaba el número de habitantes en la vivienda, estaba establecido en función de las necesidades de un hogar de 4 miembros (16 m³/vivienda), y en los últimos años se ha ido ajustando hasta un límite de 4m³/vivienda, es decir, el consumo básico de una persona. Por tanto, los hogares con menos de cuatro residentes han pasado de tener cubiertos determinados excesos de consumo, con el antiguo bloque básico, a una situación donde cualquier nuevo exceso incrementará sensiblemente el coste de la factura del agua, ya que se saldrán rápidamente de su tramo básico.

En resumen, vemos que existen sinergias en el ahorro de agua cuando ambas medidas, individualización de contadores y tarificación por habitante, actúan de forma conjunta. Ambas medidas favorecen unos hábitos de consumo sostenible al ir encaminadas a responsabilizar a los ciudadanos de su consumo. Es decir, la justicia, pilar básico de todo buen sistema económico, es también la mejor estrategia de ahorro para garantizar una gestión eficiente de nuestros recursos hidráulicos.

6. Bibliografía

Aini MS, Fakhru'l-Razi A, Siew Suan K (2001) Water Crisis Management: Satisfaction Level, Effect and Coping of the Consumers. *Water Resources Management* 15: 31-39.

Aldaya MM, Martínez-Santos P, Llamas MR (2010) Incorporating the Water Footprint and Virtual Water into Policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. *Water Resources Management* 24:941-958.

Arbués F, Barberán R (2012) Tariffs for Urban Water Services in Spain: Household Size and Equity. *International Journal of Water Resources Development* 28: 123-140.

- Arbués F, García-Valiñas MA, Martínez-Espiñeira R (2003) Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *Journal of Socio-Economics* 32: 81-102.
- Barberán R, Arbués F (2009) Equity in Domestic Water Rates Design. *Water Resources Management* 23:2101-2118.
- Berk RA, Cooley TF, Lacivita CJ, Parker S, Sredl K, Brewer M (1980) Reducing Consumption in Periods of Acute Scarcity: The Case of Water. *Social Science Research* 9: 99-120.
- Campbell HE, Johnson RM, Larson EH (2004) Prices, Devices, People, or Rules: The Relative Effectiveness of Policy Instruments in Water Conservation. *Review of Policy Research* 21: 637-662.
- Castillo-Manzano JI (2010) Determinants of commercial revenues at airports: lessons learned from Spanish regional airports. *Tourism Management* 31: 788-796.
- Corral-Verdugo V, Frías-Armenta M, Pérez-Urías F, Orduña-Cabrera V, Espinoza-Gallego N (2002) Residential Water Consumption, Motivation for Conserving Water and the Continuing Tragedy of the Commons. *Environmental Management* 30: 527-535.
- Dalhuisen JM, Florax RJGM, De Groot HLF, Nijkamp P (2003) Price and income elasticities of residential water demand: a meta-analysis. *Land Economics* 79: 292-308.
- Dandy G, Nguyen T, Davies C (1997) Estimating residential water demand in the presence of free allowances. *Land Economics* 73: 125-139.
- De Castro JM, De Castro ES (1989) Spontaneous meal patterns of humans: influence of the presence of other people. *The American Journal of Clinical Nutrition* 50: 237-247.
- Del Moral-Ituarte L, Giansante C (2000). Constraints to Drought Contingency Planning in Spain: The Hydraulic Paradigm and the Case of Seville. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 8: 93-102.
- Domene E, Saurí D (2006) Urbanisation and Water Consumption: Influencing Factors in the Metropolitan Region of Barcelona. *Urban Studies* 43: 1605-1623.
- García-Valiñas MA (2006) Analysing rationing policies: drought and its effects on urban users' welfare (Analysing rationing policies during drought). *Applied Economics* 38: 955-965.
- Gaudin S (2006) Effect of price information on residential water Demand. *Applied Economics* 38: 383-393.
- Gregory GD, Di Leo M (2003) Repeated Behavior and Environmental Psychology: The Role of Personal Involvement and Habit Formation in Explaining Water Consumption. *Journal of Applied Social Psychology* 33: 1261-1296.
- Harvey C (1989) Forecasting structural time series models and the Kalman Filter. Cambridge. Cambridge University Press.
- Head BW (2010) Water policy—Evidence, learning and the governance of uncertainty. *Policy and Society* 29: 171-180.

- Jorgensen B, Graymore M, O'Toole K (2009) Household water use behavior: An integrated model. *Journal of Environmental Management* 91: 227-236.
- Kalman RE (1960) A new approach to linear filtering and prediction problems. *ASME Transactions. Journal Basic Engineering* 83: 95-108.
- Martínez-Espiñeira R, Nauges C (2004) Is all domestic water consumption sensitive to price control? *Applied Economics* 36: 1697-1703.
- Montginoul M (2007) Analysing the Diversity of Water Pricing Structures: The Case of France. *Water Resources Management* 21:861-871.
- Musolesi A, Nosvelli M (2011) Long-run water demand estimation: habits, adjustment dynamics and structural breaks. *Applied Economics* 43: 2111-2127.
- Nauges C, Thomas A (2000) Privately Operated Water Utilities, Municipal Price Negotiation, and Estimation of Residential Water Demand: The Case of France. *Land Economics* 76: 68-85.
- Pedregal DJ, Young PC (2002) Statistical approaches to modelling and forecasting time series. In Clements MP, Hendry DF (eds) *A companion to economic forecasting*. Oxford Blackwell.
- Pumphrey RG, Edwards JA, Becker KG (2008) Urban and rural attitudes toward municipal water controls: A study of a semi-arid region with limited water supplies. *Ecological Economics* 65:1-12.
- Yoo S-H (2007) Urban Water Consumption and Regional Economic Growth: The Case of Taejeon, Korea. *Water Resources Management* 21:1353-1361.
- Whittington D (1992) Possible adverse effects of increasing block water tariffs in developing countries. *Economic Development and Cultural Change* 41:75-87.