

EL CONSUMO DE AGUA EN CÓRDOBA

JOSÉ M^a. CARIDAD Y OCERIN
ACADÉMICO CORRESPONDIENTE

INTRODUCCIÓN

Existen numerosos factores causales que determinan el nivel de consumo de agua potable en una ciudad, y la demanda de los ciudadanos. Por un lado las familias, que son los principales consumidores en Córdoba, y la estructura de la población. El segundo grupo de grandes consumidores son las industrias y locales comerciales, lo que varía mucho de una ciudad a otra. Existen otros consumidores, como los organismos públicos, cuya importancia es creciente en el municipio cordobés. La climatología es determinante en la concienciación ciudadana del uso racional del agua; de hecho influye de forma decisiva en la evolución del consumo a muy corto plazo. Por otra parte, hay que tener en cuenta la situación de partida de muchas familias, que tienen un consumo medio mensual inferior a quince metros cúbicos y que, por lo tanto, no tienen capacidad alguna de ahorro, a diferencia de las viviendas unifamiliares dotadas de jardín y otros servicios de alto consumo. En cuanto a la industria, la posibilidad de autoabastecimiento no deja de ser una realidad, unido a la necesidad de toda actividad industrial de reducir sus costes. Así pues, el mercado de la ciudad de Córdoba parte de una situación de estabilidad, con un sistema de suministro eficaz, en el que el abastecimiento está basado en dos embalses de capacidad suficiente, tanto en la actualidad como en un futuro próximo, y con un sistema de depuración de aguas que recoge casi la totalidad de las aguas residuales, que son vertidas al río Guadalquivir en un estado adecuado. El estancamiento demográfico supone que no existen estrangulamientos o deficiencias en el suministro, en la actualidad y en un futuro próximo, y, dentro de una política de uso adecuado de los recursos, es posible que los sectores consumo menor al considerado mínimo, puedan alcanzar este nivel sin que se produzcan distorsiones en la red de distribución.

La compañía EMACSA, suministradora en la ciudad de Córdoba y periferia,

ha abordado varios estudios econométricos esta evolución, así como la caracterización de los consumidores cordobeses, en función de las condiciones y modalidades del suministro, con objeto de mantener e incrementar el nivel de servicio y la satisfacción de los usuarios.

La política de precios incide en el consumo, sólo si el consumidor final percibe la incidencia de la factura del agua en su economía. En el caso del consumo doméstico, el suministro a través de un contador individual permite la transferencia de información económica al usuario, mientras que los contadores colectivos ocultan esta relación consumo-coste a las economías familiares. Los mecanismos del mercado dejan de funcionar en este último caso, y las pautas de los consumidores se asemejan más a la consideración de ser el agua un bien libre, o, en todo caso, de coste no significativo. En el caso de medidas mediante contadores individuales existen dos grupos diferenciados de consumidores, según sea una vivienda con o sin jardín.

Uno de estos factores que incide significativamente en el consumo es la concienciación de los consumidores de la necesidad del uso racional del agua. Aunque este estado de ánimo está íntimamente relacionado con la situación climática en épocas de sequía prolongada, las campañas publicitarias se ven potenciadas por la evidencia que observa el consumidor, si bien, al cambiar el ciclo pluviométrico, la demanda tiende a recuperar los niveles anteriores, con un retardo temporal. Este trabajo es el primero de una serie, en la que se presentan los resultados básicos, y la experiencia acumulada, en temas de predicción, evaluación del uso del agua en el consumo asociado a distintas políticas de precios y publicitarias, y la utilización de éstos en los procesos de toma de decisiones.

EL CONSUMO DE AGUA EN EL PERÍODO 1984-1999

La evolución del consumo mensual de agua en el municipio cordobés ha seguido unas pautas en las que se aprecian cuatro períodos claramente diferenciados: desde 1984 a 1988 se observa una tendencia con crecimiento sostenido, tendencia que se estabiliza en el período 1989 a 1992, para dar paso a unos años de disminución en el consumo durante el período de sequía entre 1993 y 1997, y de una fase expansiva en el último año y medio, pero sin superar los niveles de 1992.

En la figura 1 se muestra el comportamiento del consumo mensual (en miles de metros cúbicos), y el acumulado sobre períodos anuales (figura 2). Los mayores consumos se producen en los meses de verano, en los que una parte considerable de abonados incrementa el gasto de agua, que cae en los meses de invierno. El factor climatológico es pues determinante en la evolución del gasto mensual de agua.

La población de Córdoba ha permanecido estable en este período, si bien el número de abonados ha experimentado un crecimiento sostenido, como se aprecia en la figura 3. La no instalación de nuevos contadores colectivos, incide decisivamente en esta evolución.

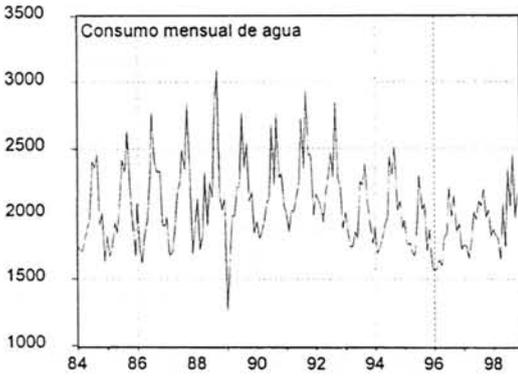


Figura 1. Consumo mensual en Córdoba.

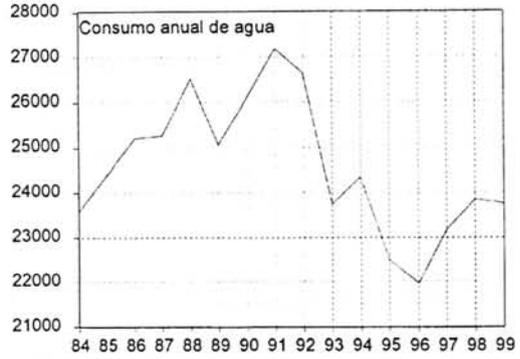


Figura 2. Consumo anual 1984-1998.

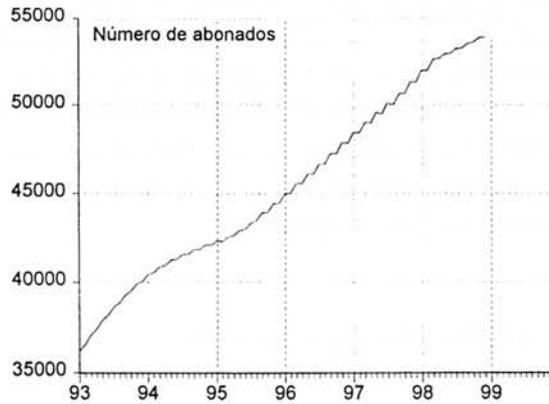


Figura 3. Evolución del número de abonados (individuales y colectivos).

El aumento de la renta disponible por los consumidores, y la construcción de nuevas viviendas, están originando un crecimiento en el consumo total, aún sin llegar a los niveles de final de la última década. Los efectos de la sequía y la concienciación en la necesidad de uso racional del agua son claramente perceptibles en el comportamiento de los consumidores, que de haber continuado en la tendencia de consumo de la década de los ochenta, se hubiera producido un gasto adicional de 28.481.759 m³, aproximadamente, según se aprecia con el modelo estimado hasta 1991, es decir, un ahorro superior a lo gastado durante un año (figuras 4 y 5).

Es claro que el consumo no tiene por qué seguir la tendencia creciente de la década anterior, pero la disminución asociada al largo período de escasez de lluvias, y, en menor medida, a las campañas de concienciación (no se han producido restricciones de agua en Córdoba en estos años) ha originado un cambio estructural en las pautas de uso del agua.

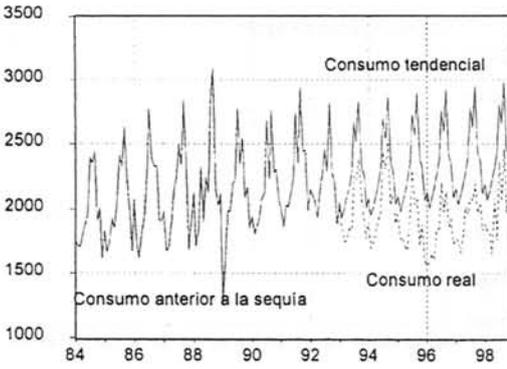


Figura 4. Evolución mensual del consumo real y previsto.

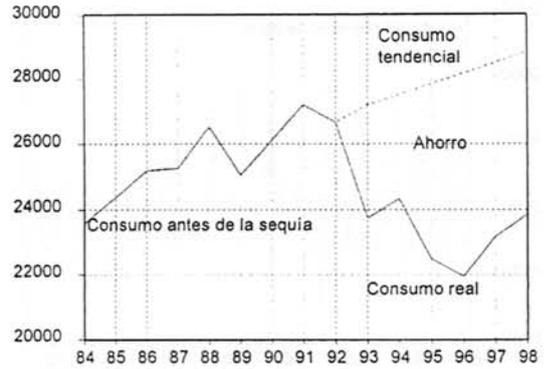


Figura 5. Evolución anual del consumo real y previsto.

Incluso, si el consumo se hubiera mantenido a nivel de 1991, se hubieran consumido 23.578.731 m³ más de lo que realmente ocurrió. Así, pues el efecto de la sequía ha inducido un cambio estructural en el comportamiento de los abonados, si bien, en los últimos dos años, en los que se han recogido, respectivamente, 1.112 mm y 750 mm de lluvia, frente a una pluviometría media de 640 mm), está creciendo rápidamente la demanda de agua. Hay que tener también en cuenta que 1998 fue un año excepcionalmente seco (menos de 400 mm), lo que ha supuesto un recordatorio para los consumidores.

EL CONSUMO Y SU DESAGREGACIÓN

El consumo de las economías domésticas supone casi el 80% de todo el gasto de agua en Córdoba, donde no existe un sector industrial amplio. En la figura 6 se muestra el desglose (en miles de m³) entre lo correspondiente a las familias, la industria, el sector benéfico, los organismos municipales y las demás instituciones públicas.

En estas series se observa una evolución a largo plazo, con una tendencia apenas perceptible; en el caso del consumo industrial, decreciente, acorde con el entorno económico de la ciudad. A lo largo del año se detecta fácilmente una

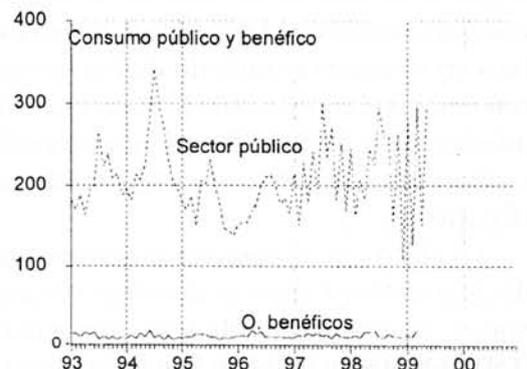
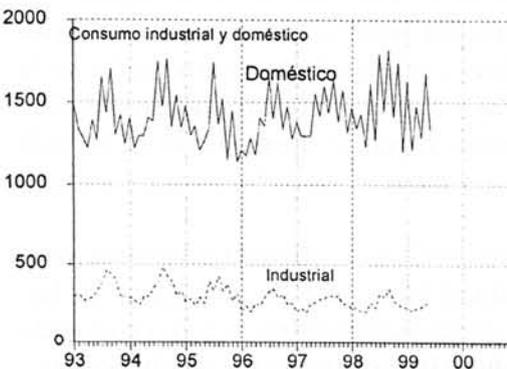


Figura 6. Desagregación del consumo en grupos de consumidores

oscilación cíclica estacional, con un máximo en los meses de verano de cada año. Esto también ocurre en el consumo industrial, que engloba a los locales comerciales. De nuevo se tiene que el factor climatológico es determinante en las oscilaciones del consumo.

Uno de los factores que incide en la cantidad de agua demandada es el precio de este producto. Anualmente la Administración pública regional, a propuesta del municipio, aprueba las tarifas a aplicar en el ejercicio siguiente. Esto es así ya que el suministro de agua se realiza en forma de monopolio de oferta, sin que exista otra alternativa para el consumidor final. Las políticas de uso racional del agua persiguen que se consuma la cantidad necesaria en cada caso, pero sin que se produzcan despilfarros. Para ello se introducen unas tarifas progresivas y unas bonificaciones. Para todos los consumidores existe una tarifa básica; en el caso de economías domésticas con consumo inferior a $9 \text{ m}^3/\text{mes}$, se aplica una bonificación; si el gasto es mayor a 20 m^3 existe una tarifa más cara para este exceso, y si es mayor que 40 m^3 de nuevo se incrementa el coste del agua. En el caso de consumidores industriales también existe unas tarifas similares con tres escalones.

En una economía de mercado son los precios de los productos los que transmiten información al consumidor final, aunque al tratarse de un bien necesario y sin opciones de bienes o suministradores alternativos, esta función queda limitada a la percepción de un coste por parte de los consumidores; si este coste es acorde al servicio y a la capacidad económica, será asumido como tal. En el caso de consumo superior a la cantidad considerada como básica, el coste se incrementa con un fin disuasorio. Es claro que esta forma de valorar un producto no afecta a todos por igual, ya que, por ejemplo, una familia numerosa tenderá a un mayor gasto, e incurrirá en las tarifas marginales más elevadas. No obstante, a falta de otra posibilidad real de evaluación de las necesidades individuales, no cabe otra forma de incidir en el consumo vía precios. Como contrapartida, unas tarifas marginales demasiado elevadas fomentan el autoabastecimiento. En el sector industrial la situación no es tan clara, pues un incremento de costes no incentiva la economía local, aunque hay que pensar que el agua no es el factor de producción más caro en la estructura de inputs de la industria de Córdoba.

EL CONSUMO DOMÉSTICO

El abastecimiento de agua a las viviendas se controla para la correspondiente facturación mediante dos tipos de contadores: individuales, es decir, que miden la cantidad suministrada a una única vivienda, y los colectivos, que tienen esta función sobre bloques de viviendas, cuyo número oscila entre dos y más de cien. Hasta 1991 este segundo tipo de contador era el usual, pero la normativa municipal obliga a un suministro individualizado a cada vivienda de un bloque de pisos o comunidad. De esta forma se tiene que el número de abonados crece desde este momento, debido a nuevas construcciones o nuevas altas. Incluso la compañía suministradora, EMACSA, facilita a copropietarios que deseen sustituir un contador colectivo por individuales, el proceso de desagregación, financiando y asesorando las obras necesarias, en los casos en los que esto es posible.

El comportamiento de los abonados, como es bien sabido, depende del tipo de contador utilizado, ya que la asociación del coste del agua con la incidencia en la renta familiar no es claramente percibida por el consumidor que dispone de un contador comunitario. Este hecho es claramente observable en la evolución del consumo por abonado, según se observa en las figuras siguientes. Las dos primeras corresponden a la evolución, en los últimos años, del consumo medido en contadores colectivos, tanto mensualmente, como con periodicidad anual (figura 7). El abonado con contador individual y alto nivel de consumo, tiene una mayor capacidad de disminución del gasto.

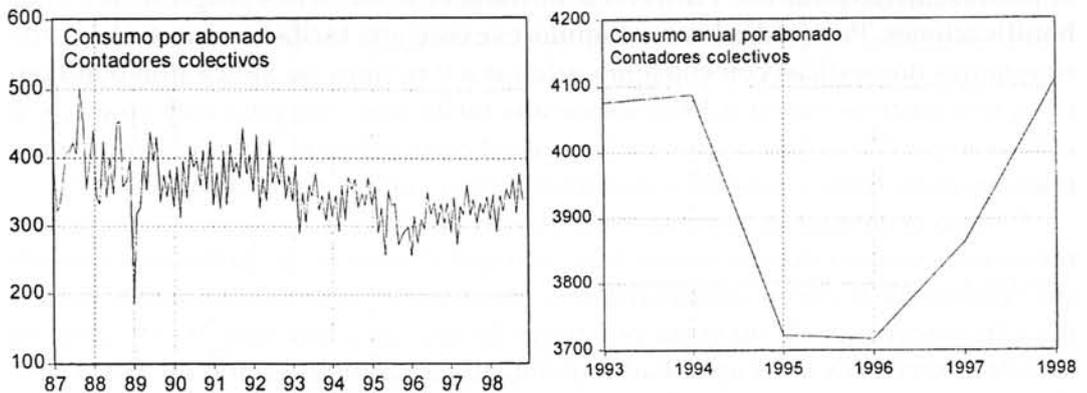


Figura 7. Consumo mensual medio en contadores colectivos y consumo anual medio en contadores colectivos.

No obstante hay que señalar que en los datos analizados están superpuestos los abonados domésticos con contador individual que habitan viviendas en el casco urbano, y los que disponen de una casa con jardín, y, en muchos casos, piscina. Los primeros, sin duda, tienen un nivel de consumo mucho más bajo, por lo que su capacidad de un gasto menor es más limitada que en los que usan una gran parte del agua consumida en riego o llenado de piscinas. Así pues, para poder analizar de forma precisa el comportamiento de los consumidores domésticos con contador individual, sería preciso disponer de información desagregada en función del tipo de vivienda.

A continuación se muestra la evolución mensual y anual del consumo por abonado, medido en contadores individuales (figura 8). Las diferencias entre las pautas de comportamiento son evidentes. Los abonados con contadores individuales disminuyeron significativamente su consumo en el tercer año de sequía, mientras que los abonados con contador colectivo no alcanzaron el 10%. Por otra parte, al concluir el período en el que la concienciación del uso racional del agua era evidente, de nuevo se produce una discrepancia en el comportamiento: los abonados a través de contadores colectivos han recuperado de forma casi inmediata el nivel de consumo anterior, mientras que los abonados con contador individual mantienen los niveles inferiores, es decir, que se ha producido un cambio estructural en la demanda de agua asociada al tipo de contador. Todo ello sin tener en cuenta la percepción del incremento del coste marginal debido a la es-

estructura de bloques de tarifas: en los usuarios individuales se produce con claridad este efecto, mientras que en los colectivos, no se aplican de hecho las tarifas marginales más elevadas. No obstante, la instalación exclusiva de contadores individuales en los últimos años induce a un crecimiento relativo del consumo a través de éstos, alcanzándose el 40% del total en éstos, en el año 2000.

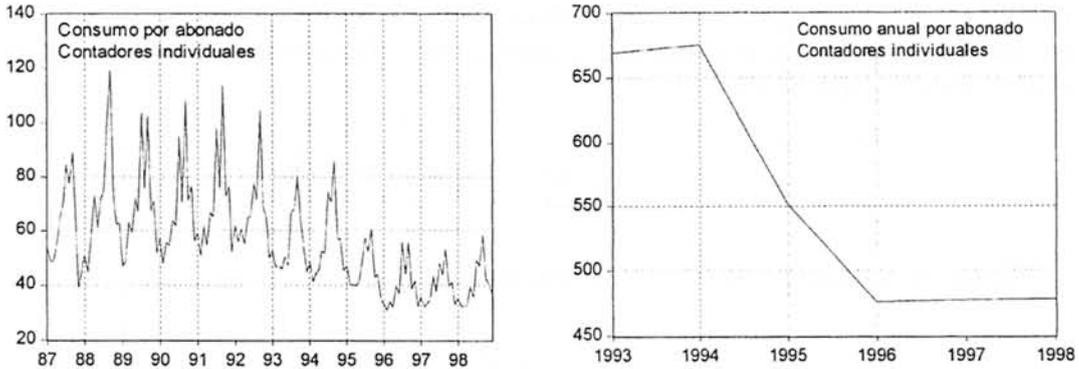


Figura 8. Consumo mensual medio en contadores individuales y consumo anual medio.

Respecto a la capacidad de respuesta de los consumidores dotados de contador individual, es necesario recordar lo expuesto anteriormente: no nos es posible diferenciar el tipo de comportamiento en relación al nivel de consumo de cada uno, y, es previsible que aquellas viviendas sin jardín tengan un nivel de consumo mucho más bajo, y una capacidad de disminución de este mucho más limitada.

Los abonados domésticos han ido incrementando su participación en el consumo global, frente a los de tipo industrial, en Córdoba. Es un hecho observado, la disminución del número de industrias en Córdoba, con la consiguiente caída del consumo. El consumo doméstico es más estacional, sobre todo al usar contadores individuales. Este hecho origina períodos en los que la demanda de agua es muy superior a la media.

PREDICCIONES DEL CONSUMO

Los problemas de predicción de productos de consumo son una necesidad para la mayor parte de las empresas. Predecir es siempre difícil, especialmente hacia el futuro. Existen numerosas técnicas econométricas cuyo fin es realizar predicciones. En nuestro caso la información disponible es de tipo temporal, el consumo medido cada mes, con algunas desagregaciones, y, sin disponer de datos de variables causales de este consumo, se aborda el problema realizando el análisis de las correspondientes series.

Para representar la evolución a corto plazo del consumo global de agua y de algunas series desagregadas se pueden utilizar diversos métodos de modelización, y sus resultados son satisfactorios si el objetivo es la predicción con un horizonte no superior a los dos años. Entre estos métodos cabe citar los modelos Arima o de regresión dinámica o GARCH, la metodología X11, y los métodos VAR, y otros.

Generalmente las predicciones se realizan con varios modelos alternativos, pues no tiene porqué existir un único modelo como mecanismo generador de una serie, ni siquiera tiene sentido el pensar que existe un *mejor* modelo. En realidad los distintos modelos, $\{f\}$, son abstracciones que se utilizan como instrumentos para obtener estimaciones y predicciones razonables y que sean útiles.

En general, para una serie y_{am} se dispondrá de un conjunto de modelos $\{M_f; f = 1, 2, \dots, F\}$ que se consideran adecuados. Con cada uno de estos se obtienen las predicciones y las respectivas varianzas de los errores de predicción $\bar{s}_{f, AM, am}^2$. La predicción obtenida en el instante $t = (\text{año } A, \text{ mes } M)$ referida al instante posterior $t = (\text{año } a, \text{ mes } m)$ es

$$\hat{y}_{F, AM, am} = \sum_{f=1}^F \alpha_{f, am} \hat{y}_{f, AM, am}$$

siendo las ponderaciones $\alpha_{f, am}$, la raíz cuadrada de los valores

$$\alpha_{f, am}^2 = \bar{s}_{f, AM, am}^2 / \sum_{i=1}^F \bar{s}_{i, AM, am}^2$$

Estas ponderaciones se obtienen minimizando la varianza del error de predicción correspondiente a la combinación lineal, $\hat{y}_{F, AM, am}$, obtenida a partir de las predicciones con los distintos modelos. Los coeficientes se obtienen minimizando la función las grangiana

$$L = \bar{s}_{f, AM, am}^2 + \lambda \left(1 - \sum_{f=1}^F \alpha_{f, am} \right) = \sum_{f=1}^F \alpha_{f, am}^2 \bar{s}_{f, AM, am}^2 + \lambda \left(1 - \sum_{f=1}^F \alpha_{f, am} \right)$$

Si no existe una gran variabilidad entre las distintas ponderaciones cabe usar una ponderación media asociada a cada modelo $\alpha_f = \bar{\alpha}_f, \dots$

Así pues, si se utilizan los modelos siguientes para obtener las predicciones del consumo global en Córdoba correspondientes a diciembre de 1998 y a todo 1999, se obtienen dos series muy parecidas de predicciones que deben ser refundidas. En ambos casos, se han realizado los contrastes usuales de validación.

El modelo ARIMA para el consumo global seleccionado es ($f = 1$)

$$(1 + 0.7576B)\nabla\nabla_{12}YM3_t = (1 + 0.1404B - 0.26225B^2)a_t$$

y el modelo de regresión dinámica es ($f = 2$)

$$YM3_t = 1659903 + 2902.88t - 123629 \text{ Ene} - 166386 \text{ Feb} - 177321 \text{ Mar} + \\ -195369 \text{ Abr} + 16630 \text{ May} - 327 \text{ Jun} + 326854 \text{ Jul} + 127685 \text{ Ago} + \\ + 290088 \text{ Sep} - 19516 \text{ Oct} + 80797 \text{ Nov} - 159506 \text{ Dic} + e_t$$

siendo su estructura de autocorrelación

$$(1 - 0.175B + 0.356B^2) e_t = (1 - 0.886B^{12})a_t$$

Las predicciones obtenidas con ambos modelos, y sus varianzas aparecen en la tabla siguiente

t	$f=1$		$f=2$	
	Modelo ARIMA	S_F^2	Modelo dinámico	S_F^2
1998:12	1818097	209108204.89	1820205	1294791139.48
1999:01	1878221	140096948.65	1852836	1483082759.59
1999:02	1797744	185957850.03	1813815	1177299416.43
1999:03	1792799	149326858.31	1816740	1158396932.26
1999:04	1743663	171462675.67	1824156	1163481765.77
1999:05	1999231	270027379.62	1954591	1305774261.74
1999:06	1907448	676481543.67	2074793	1196157352.07
1999:07	2340512	1170622852.18	2289760	1387833516.20
1999:08	2122266	884035766.24	2103817	1377665361.10
1999:09	2307592	1027293770.19	2161011	918081405.66
1999:10	1979200	1079082725.70	1950548	1315981343.43
1999:11	2073461	1023688235.59	2019886	1069705990.93
1999:12	1853950	1072526929.17	1825600	1290323277.03

Por lo tanto, las ponderaciones a emplear cada mes, para refundir las predicciones son

t	α_1	α_2
1998:12	0.974581	0.025419
1999:01	0.991156	0.008844
1999:02	0.975658	0.024342
1999:03	0.983654	0.016346
1999:04	0.978744	0.021256
1999:05	0.958990	0.041010
1999:06	0.757667	0.242333
1999:07	0.584292	0.415708
1999:08	0.708332	0.291668
1999:09	0.444037	0.555963
1999:10	0.597953	0.402047
1999:11	0.521972	0.478028
1999:12	0.591399	0.408601

resultando las predicciones mensuales ponderadas finales, $\hat{y}_{F, 9812, am}$, las cuales aparecen en la tabla siguiente y en la figura 9.

<i>t</i>	<i>Modelo Arima</i>	<i>Modelo dinámico</i>	<i>Predicción final</i>
1998:12	1870897	1820205	1869609
1999:01	1986556	1852836	1985373
1999:02	1878518	1813815	1876943
1999:03	1863631	1816740	1862864
1999:04	1816841	1824156	1816996
1999:05	2055357	1954591	2051225
1999:06	1990425	2074793	2010870
1999:07	2398316	2289760	2353189
1999:08	2212172	2103818	2180568
1999:09	2402112	2161011	2268069
1999:10	2066386	1950548	2019813
1999:11	2152133	2019886	2088915
1999:12	1930701	1825600	1887756
Total	24753148	23687555	24402583

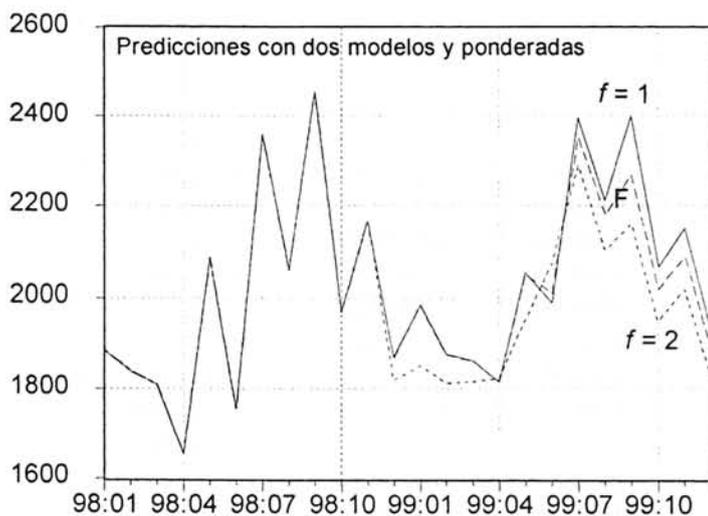


Figura 9. Predicciones obtenidas con dos modelos univariantes y refundición en una única predicción.

Gráficamente se observa la evolución de las predicciones finales, así como las obtenidas con los dos modelos anteriores. En la primera mitad del año, predominan las predicciones obtenidas con el modelo Arima, mientras que en el segundo semestre de 1999, el modelo de regresión dinámica va adquiriendo una mayor influencia.

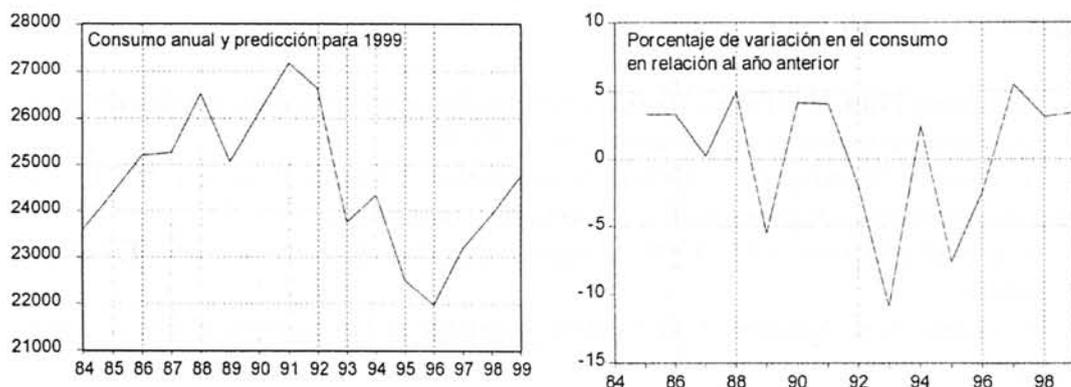


Figura 10. Consumo anual y predicciones en Córdoba y ratio interanual de variación.

La evolución en los últimos 15 años se muestra en la figura anterior, así como el crecimiento interanual, que ha ido oscilando en ambos sentidos, si bien, en los últimos años ha experimentado un crecimiento sostenido.

Al considerar varios modelos alternativos, la actualización de las predicciones, cada vez que se disponga de un dato real adicional, es menos propensa a desviaciones sistemáticas, cuando el horizonte temporal se extiende, debido a ligeros errores de especificación en algunos de los modelos.

ALGUNAS CONCLUSIONES

En primer lugar hay que resaltar que el abastecimiento de agua de la ciudad de Córdoba está bien establecido, a través de un sistema de gestión integral del agua, desde su captación y potabilización, hasta su depuración y vertido posterior al río Guadalquivir.

En épocas de sequía disminuye el consumo; se produce una concienciación en la necesidad del uso racional del agua, y este estado de ánimo perdura durante un cierto tiempo. No obstante existe un consumo que se considera el mínimo en condiciones normales, por debajo del cual no es factible una disminución apreciable. En general la situación en Córdoba es de un consumo medio próximo a este nivel, aunque se producen diferencias en diversas zonas de la ciudad.

El consumo doméstico es la parte más importante de la demanda de agua, y se incrementa de forma muy moderada. Es muy estacional y relacionado con las condiciones climatológicas. El uso industrial ha ido disminuyendo en los últimos años asociado a la desindustrialización del municipio.

La implantación de contadores individuales se produce a un ritmo constante, y la cuota de consumo medida a través de estos no cesa de aumentar. Los consumidores domésticos con contador individual tienen un comportamiento más estacional, y adaptan su consumo con más flexibilidad.

Las predicciones del consumo de agua para la ciudad de Córdoba se sitúan en el entorno de 24 a 25 millones de metros cúbicos al año, estando estabilizadas. Existen grupos de consumidores que potenciarán esta demanda, pero sin duda serán compensados por los efectos demográficos.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilera Flink, F. (1996). *Instrumentos útiles para mejorar la gestión del agua*. Cuadernos Aragoneses de Economía, 6, 1, 15-39.

Caridad y Ocerin, J.M. (1998). *Econometría: Modelos Econométricos y Series Temporales* (2 tomos) Editorial Reverté. Barcelona.

Caridad y Ocerin, J.M. (1999). *Estadística Aplicada*. Publicaciones ETSIAM. Córdoba.

Farnum, N.R., Stanton, L.W. (1989) *Quantitative Forecasting Methods*. PWS-Kent

Fluxá Ceva, J.M., Gistau Gistau, R.; Herreras Espino, J.A.; López Camacho, B. (1997) *El mercado del agua*. Revista de Estudios Económicos. 1-2, 173-188.

Gómez, V. Maravall, A. (1998). *Automatic modeling methods for univariate series*. Documento de trabajo nº 9808. Banco de España.

Hamilton, J.D. (1994) *Time Series Analysis*. Princeton University Press.

Iranzo, J.E. (1997) *La gestión del agua*. Revista de Estudios Económicos, 1-2, 147-150

Martínez López, L.; Martín Barajas, S. (1995). *Por un enfoque de demanda en la gestión del agua*. Ciudad y Territorio, 3, 105, 509-513

Mipel, K.W., McLeod, A.I. (1994) *Time series modelling of water resources and environmental Systems*. Elsevier.