

# Desarrollo de una metodología de desagregación manual de usos finales del agua basada en la identificación de los días representativos

S. Castilla<sup>a</sup>, F. Arregui<sup>b1</sup>, R. Cobacho<sup>b2</sup> y L. Pastor<sup>b3</sup>

<sup>a</sup>Dto. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, [sancasdi@posgrado.upv.es](mailto:sancasdi@posgrado.upv.es).

<sup>b1</sup>ITA-Grupo de Ingeniería y Tecnología del Agua, Dpto. de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, València 46022, [farregui@ita.upv.es](mailto:farregui@ita.upv.es) <sup>b2</sup>[rcobacho@ita.upv.es](mailto:rcobacho@ita.upv.es) <sup>b3</sup>[laupasja@ita.upv.es](mailto:laupasja@ita.upv.es)

Línea temática B | Hidrología, usos y gestión del agua.

---

## RESUMEN

El agua es un bien preciado y debido a ello, las entidades responsables de su gestión están fijando como objetivo optimizar su uso a lo largo de todo el ciclo integral. Para lograrlo es imprescindible realizar una correcta gestión de la demanda con el fin de conseguir que el consumo de agua por parte de los usuarios se acerque a estándares eficientes. Para ello, es necesario conocer el comportamiento actual de los usuarios para establecer las estrategias a seguir. El análisis de los microcomponentes de la demanda define el modo de consumir agua en el interior de una vivienda. Debido a que la realización de un estudio de desagregación de usos finales conlleva un gran coste en tiempo y capital humano, se ha desarrollado una metodología de aplicación en períodos de monitorización extensos que permite simplificar este proceso, para su posterior clasificación del consumo residencial en los principales usos finales interiores: grifo, ducha, cisterna, lavadora, lavavajillas y fugas interiores.

**Palabras clave** | Gestión de la demanda; usos finales de agua; microcomponentes de la demanda; medición de alta resolución.

---

## INTRODUCCIÓN

La escasez y el agotamiento de los recursos, especialmente del agua dulce, es una cuestión que genera una gran preocupación a nivel mundial (Uchenna et al., 2009). Sumado a la masiva concentración de las demandas de agua de millones de habitantes de las denominadas megaciudades, concentradas en áreas reducidas, repercutirá en un aumento del estrés en los suministros finitos de agua dulce disponible (McDonald et al., 2011).

El consumo residencial de agua representa un componente importante del consumo total (Sadalla et al., 2014). Dicho consumo por parte de los usuarios debe acercarse a estándares eficientes con el fin de paliar el problema con vistas al futuro. Para lograr este avance es necesario conocer el comportamiento actual que muestran los mismos con el propósito de fijar los objetivos a alcanzar, así como establecer las políticas de gestión de la demanda necesarias para equilibrar las necesidades de agua de la población y los recursos hídricos disponibles.

Los mecanismos de la gestión de la demanda más comunes a aplicar a nivel global se recogen en Alias et al. (2017), que se clasifican en (i) un aumento monetario de la tarifa, (ii) la instalación de tecnologías y dispositivos que consigan un ahorro del consumo en el hogar, (iii) diseñar campañas de comunicación y educación para concienciar a la población (iv) y aplicar un mecanismo de restricción de agua cuando no se disponga del suficiente recurso hídrico.

En los últimos años se han aplicado estas políticas de gestión sin la efectividad que se esperaba, ya que los factores de concienciación que afecta a cada persona no son los mismos (Jorgensen et al., 2009). Para poder aplicar una determinada política de gestión de la demanda, es necesario realizar un estudio en el que se evidencie un conocimiento del comportamiento que muestra el consumidor, para determinar el tipo de mecanismo de mejora de la eficiencia que se ajusta en mayor medida.

Con el fin de conocer dicha conducta, el estudio se centra en la caracterización de los microcomponentes de la demanda, profundizando en los usos finales de agua que se producen en el interior de cada vivienda. Los estudios de caracterización de

usos finales se encuentran en pleno desarrollo, y se han realizado escasos estudios aún a escala mundial sobre dicha temática (Beal y Stewart, 2011). Esto se debe a que realizar un estudio de desagregación de usos finales lleva asociado consigo efectuar un trabajo costoso y de lenta ejecución (Nguyen et al., 2013). Una revisión de los estudios más relevantes de caracterización de usos finales se encuentran recopilados en Cominola et al. (2015).

Para determinar y clasificar los microcomponentes que caracterizan la demanda de los usuarios se pueden llevar a cabo dos tipos de monitorización de la vivienda: medición intrusiva, que dispone un equipo inteligente de alta resolución por cada salida de agua existente en la vivienda, el cual es considerado inviable como aplicación real (Rowlands et al., 2015) debido al gran coste asociado a la cantidad de contadores de alta resolución y dispositivos registradores que supondría su empleo; medición no intrusiva que se trata de una alternativa de aplicación real (Mayer y DeOreo, 1999), al tomar la información del contador existente a la entrada de la vivienda. Este último método cuenta con menor precisión y mayor incertidumbre, por lo que una vez recabada la información, ésta debe ser procesada, desagregándose en usos finales. Los resultados obtenidos se pueden cruzar con datos procedentes de encuestas sociodemográficas, de forma que el conjunto forme una base sólida para el desarrollo de modelos de demanda basados en usos finales del agua. La realización de análisis de microcomponentes de la demanda es una herramienta de gran utilidad directa para los propios usuarios, puesto que se son capaces de identificar por sí mismos los malos hábitos que han adquirido, para así iniciar el cambio de comportamiento. Los usos finales en los que se divide la demanda se pueden clasificar en consumos interiores y exteriores. Al abordar el estudio de viviendas residenciales multifamiliares, únicamente se van a identificar los principales usos finales interiores: grifo, ducha, cisterna, lavadora, lavavajillas y fugas interiores.

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de una metodología, que permita simplificar y facilitar la realización de los análisis de desagregación en usos finales de agua de forma manual. Dicho objetivo surge a raíz del gran coste en tiempo y capital humano que llevan asociados consigo este tipo de análisis, que hacen que sea impensable procesar todo el período de monitorización del que se dispone. Con el fin de realizar una caracterización de los microcomponentes significativa a lo largo de un período extenso de recabación de datos, se ha desarrollado un proceso mediante el cual, se identifican los días que mejor representan a todo el período de monitorización. Dichas fechas se logran localizar realizando una búsqueda basada en las características físicas de los eventos registrados: volumen consumido, caudal medio del pulso y duración del mismo. El consumo de cada usuario quedará definido por unas características medias, identificando los días de registro que mayor similitud presentan con respecto a las mismas. El empleo de este proceso permite que los resultados obtenidos en la desagregación de usos finales equivalgan a un comportamiento de consumo medio a lo largo del período de monitorizado. Por lo tanto, se aborda el estudio de microcomponentes de una forma objetiva, ya que de lo contrario, se corre el peligro de que los resultados contengan cierto sesgo al seleccionar aleatoriamente los días procesados manualmente.

---

## CASO DE APLICACIÓN: VALENCIA

El presente estudio ha sido desarrollado en la ciudad de Valencia, y se enmarca dentro de uno de los tres casos de aplicación del proyecto europeo SmartH2O, en el cuál es partícipe Global Omnium (Grupo Aguas de Valencia) y que, ha hecho posible su realización a través de su Cátedra en la Universitat Politècnica de València. Para poder llevar a cabo el estudio del comportamiento de los usuarios se han recabado datos de consumo en 4 edificios con viviendas multifamiliares residenciales mediante una monitorización de alta resolución, capaz de tomar registros cada 0.1 litros. En la realización del estudio se han empleado datos de 3 viviendas que corresponden al período que se extiende desde Septiembre de 2016 hasta Febrero de 2017.

### Localización

Valencia, con una población de 790,201 habitantes (INE, 2016) es la tercera ciudad con mayor importancia de España, en relación al número de habitantes, sólo por detrás de Madrid y Barcelona. La ciudad se caracteriza por tener una temperatura media de 18.7 °C con una humedad relativa media del 66%.

Valencia se encuentra ubicada en la llanura litoral, en la costa levantina de la Península Ibérica, junto a la desembocadura del río Turia. Dicho río fue desviado en los años 70 debido a la inundación del 14 de Octubre de 1957, por la que se produjo lamentablemente la pérdida de 81 víctimas humanas, miles damnificados y números daños materiales. Como consecuencia, el río Turia actualmente bordea por el sur a la ciudad de Valencia, previamente a su desembocadura.



**Figura 1** | Ubicación y localización del caso de aplicación.

El centro histórico se ubica a una distancia de unos cuatro kilómetros de la costa. Los edificios que componen la muestra a monitorizar están ubicados en la zona sur de la ciudad, limitando con el sur del casco antiguo de la misma (Figura 1).

## MATERIAL Y MÉTODOS

El proceso de desagregación manual de usos finales es un proceso muy costoso respecto a la inversión en tiempo y capital humano (Nguyen et al., 2013). Con el objetivo de ser posible la aplicación en una campaña de monitorización prolongada en el tiempo, la simplificación del proceso es la única posibilidad de que sea factible. Para su consecución, se realiza una selección de unos días que representan todo el período de monitorización de la forma más fidedigna posible. Esta búsqueda se lleva a cabo en base a 3 características físicas que definen los pulsos de consumo una vez agrupados, que son el volumen de agua consumido, el caudal medio asociado a ese pulso, y su duración. Los días que se consideran más representativos son aquellos que han obtenido menor error al ser comparadas sus características con unos valores de referencia calculados para cada usuario y día de la semana, que definen el comportamiento en media respecto al consumo.

La metodología desarrollada es de aplicación en períodos de monitorización extensos, ya que en el caso de contar con escasos registros carecería de utilidad, puesto que no hay variedad de alternativas. Dicho método tiene en cuenta la posibilidad de que existan vacíos de información en días aislados, lo que le dota de mayor robustez y fiabilidad al desarrollo. Los vacíos de información son habituales debido a la gran resolución de información que proporcionan los contadores inteligentes. Se presentan cuando los dispositivos empleados para la monitorización del consumo doméstico no disponen de la capacidad de almacenamiento requerida. Estos vacíos de información pueden ser evitados mediante el empleo de mecanismos de transmisión de datos vía radio o GPRS/GSM (Arregui et al., 2006) para almacenar los registros mediante técnicas Big Data.

El objetivo que se pretende alcanzar es la identificación de cada día de la semana (e.g. lunes, martes, etc.) que mejor represente el comportamiento en media del período, para que los consumos desagregados reproduzcan el consumo registrado durante toda la campaña de monitorización. Esta distribución de valores de referencia se ajusta en mayor medida a la realidad, debido a que la organización de las personas se estructura por horarios semanales, siguiendo un patrón de comportamiento para cada día de la semana. Los días resultantes se encontraran dispersos a lo largo del calendario de monitorización, lo que supone una gran fortaleza, ya que se asegura de este modo, la obtención de un error mínimo, sin la obligación de seleccionar un número de días consecutivos, sino sólo los que representan menor error frente a una referencia específica para cada día de la semana.

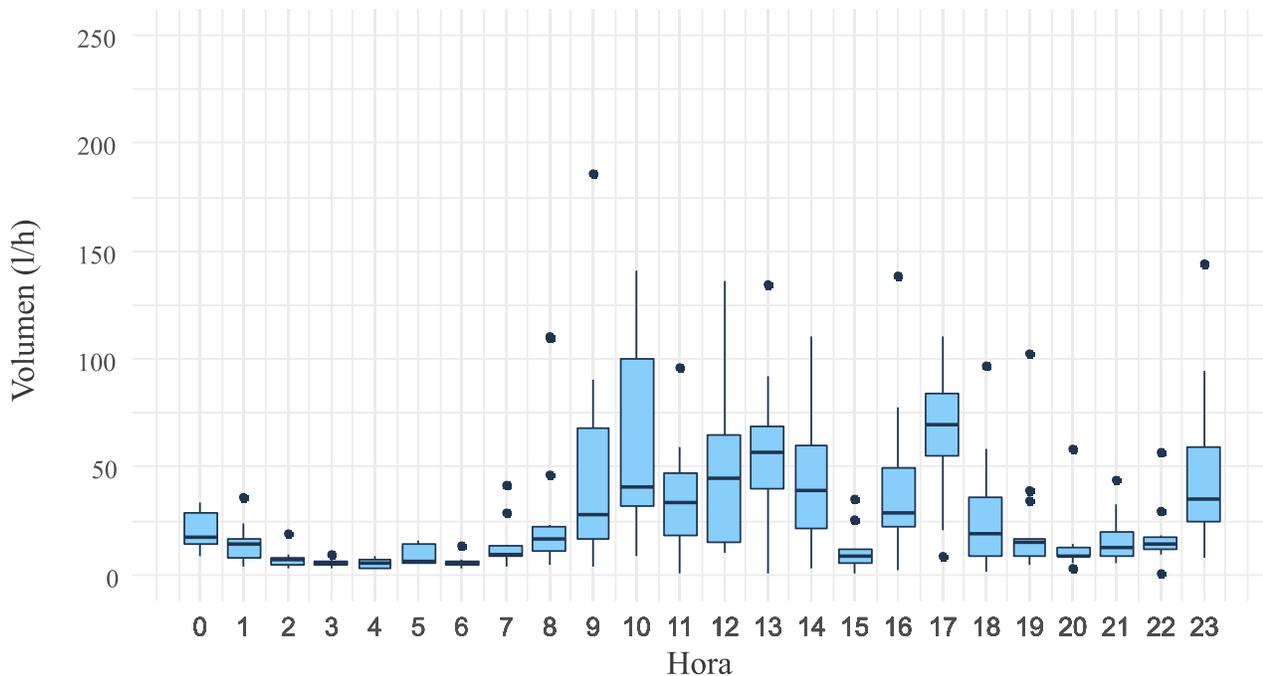
Cabe mencionar otra de las fortalezas del método, puesto que es la tolerancia a los vacíos de información, ya que de lo contrario, si se produjese un vacío en un día específico habría que desechar la semana al completo si la selección fuera por días consecutivos.

Esta herramienta es de aplicación en períodos de monitorización extensos, por lo que el consumo se ha estabilizado durante la recabación de información, obteniéndose así el porcentaje de cada microcomponente que define la demanda de cada usuario.

### Cálculo del error de volumen

La característica del volumen es la de mayor importancia a la hora de la identificación de los días, y por ello es necesario realizar un proceso más exhaustivo. Es debido a que si sólo se escoge como valor de referencia el volumen medio diario del período, no aporta información extra sobre el modo de consumir dicho volumen a lo largo del día de referencia. Toma una trascendental importancia, por tanto, realizar una caracterización de la demanda más allá de la obtención del valor de consumo medio diario, para así conseguir representar la forma en la que ese volumen ha sido registrado a lo largo del día. De lo contrario, si sólo se trabaja con valores medios, se puede incurrir en errores graves, como seleccionar los días con un consumo medio diario prácticamente idéntico, pero que en realidad, dicho volumen se haya registrado de una forma totalmente diferente a lo largo de la fecha resultante.

#### Determinación de la curva de referencia diaria



**Figura 2** | Procesado e identificación de consumos horarios anómalos.

Por ello, ha de obtenerse una curva de modulación diaria (una para cada día de la semana) que proporcione información adicional. Se obtiene de este modo, un total de siete curvas de referencia por vivienda con los que realizar el proceso. El modo de conseguir dichas referencias comienza por identificar y eliminar los consumos anómalos de cada vivienda que no representan el consumo medio que se pretende caracterizar.

En la Figura 2 se muestra el procesado de los consumos mediante el empleo de diagramas box-whisker (o diagramas de caja y bigote). En él se visualiza la distribución de los consumos agrupados de forma horaria, arrojando información como la mediana, el primer y tercer cuartil. Los outliers o valores atípicos, representados individualmente, son eliminados de la curva de

referencia diaria por representar situaciones de consumo aisladas y anómalas. Cuanto mayor consumo se presenta en una hora, mayor es la dispersión de los datos, siendo mínima en las horas de la madrugada, donde se produce el menor consumo.

El error que se asigna a cada día de registro referente al parámetro volumen, se obtiene aplicando la Ecuación del error cuadrático (1) hora a hora respecto a la curva de referencia diaria obtenida para cada día de la semana. Con ello se consigue que la fecha escogida reproduzca la evolución horaria de consumo en media típica de un día concreto de la semana. De modo que el error para cada día de la semana es igual a la suma de 24 errores, uno por hora.

$$Error_{vol} = \sum_0^{23} (V_{referencia} - V_i)^2 \quad (1)$$

En la Figura 3 se realiza una comparación de las curvas de modulación que menor error han resultado para la selección del miércoles de la Vivienda 3 analizada. En dicho ejemplo el valor con menor error se representa en color oscuro, mientras que el día simbolizado en tono claro es el que mayor error resulta de los tres días representados.

Ponderación de los días idóneos respecto del volumen

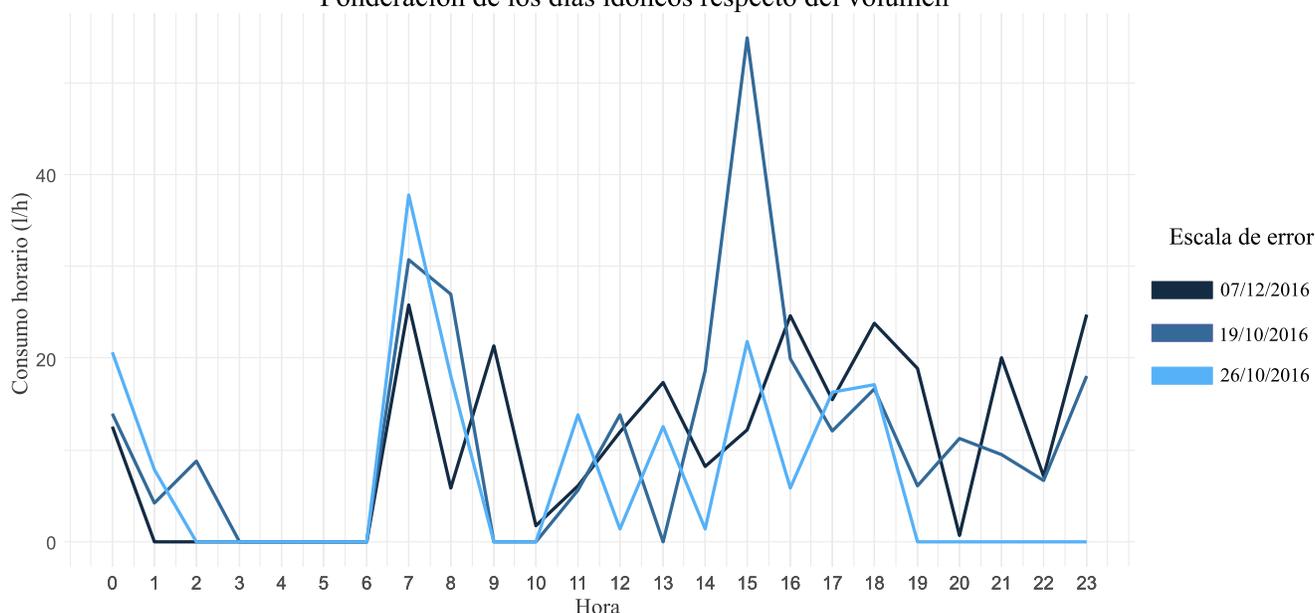


Figura 3 | Comparación de la modulación de consumo diaria.

Conforme al anterior punto, y a fin de determinar el error volumétrico asociado a cada día registrado, se acumula el error que se produce a cada hora a lo largo de cada fecha, siendo elevado al cuadrado para que no influya el signo del error, es decir, si es por exceso o por defecto de volumen. Se han tenido en cuenta varias opciones para estimar el resultado normalizando el error, pero debido a que en determinadas viviendas sin ningún tipo de fuga, nunca se ha producido consumo en alguna hora de la madrugada, los resultados se desvirtuaban en dos escenarios posibles:

- El valor del volumen de referencia es 0 y un día particular acumula  $x$  litros, que no se han tenido en cuenta por ser un outlier, ya que se ha producido de forma anómala y aislada. El resultado daría como error un valor infinito, lo que no ayuda a la tarea de cuantificación del error:

$$E_1 = \sum_0^{23} \left( \frac{V_{referencia} - V_i}{V_{referencia}} \right)^2 = \left( \frac{0 - x}{0} \right)^2 = \infty \quad (2)$$

- El valor del volumen del día determinado a calcular el error es 0, siendo el valor de referencia esta vez  $x$  litros para una hora determinada. El resultado que se obtiene no vuelve a ayudar a la cuantificación del error, ya que sea cual sea la magnitud del consumo en este caso siempre va a ser igual a 1:

$$E_2 = \sum_0^{23} \left( \frac{V_{referencia} - V_i}{V_{referencia}} \right)^2 = \left( \frac{x - 0}{x} \right)^2 = 1 \tag{3}$$

Por lo anteriormente expuesto no es posible realizar ningún tipo de normalización del error asociado al volumen hora por hora, lo que hubiera permitido compararlo directamente con los referentes al caudal y la duración.

### Cálculo del error de caudal y duración

Las variables de caudal y duración se encuentran asociadas a cada pulso de consumo agrupado. Debido a que el objetivo no es sólo identificar los días que sigan la tendencia de consumo marcada, sino que además posean las características más similares posibles a los pulsos medios para que la desagregación de usos finales sea fiel reflejo del período, estas características también han de ser tenidas en cuenta para la identificación y selección de los días representativos.

Una vez conseguido a través del error del volumen cuantificar qué día se adapta mejor a la evolución del consumo horario de un día, se continúa estableciendo si el tipo de consumo se asemeja al medio; i.e., aunque en una determinada hora se consuman los mismos litros de agua, se han producido situaciones distintas si se han alcanzado a base de gran cantidad de grifos o por el empleo de una única lavadora. El modo de consumo es distinto, en tanto que a cada uso final se le asocia unas características determinadas.

Con miras a la incorporación de dichos parámetros al desarrollo para una exitosa selección de los días a desagregar manualmente, es necesario completar el proceso con estas dos variables que se desarrollan del mismo modo, y no sólo implementar la parte de la metodología del volumen consumido. Las etapas necesarias para cuantificar estas variables son levemente más sencillas. A cada pulso de consumo se le asocia un caudal medio, ya que el caudal suele fluctuar ligeramente, y una duración característica.

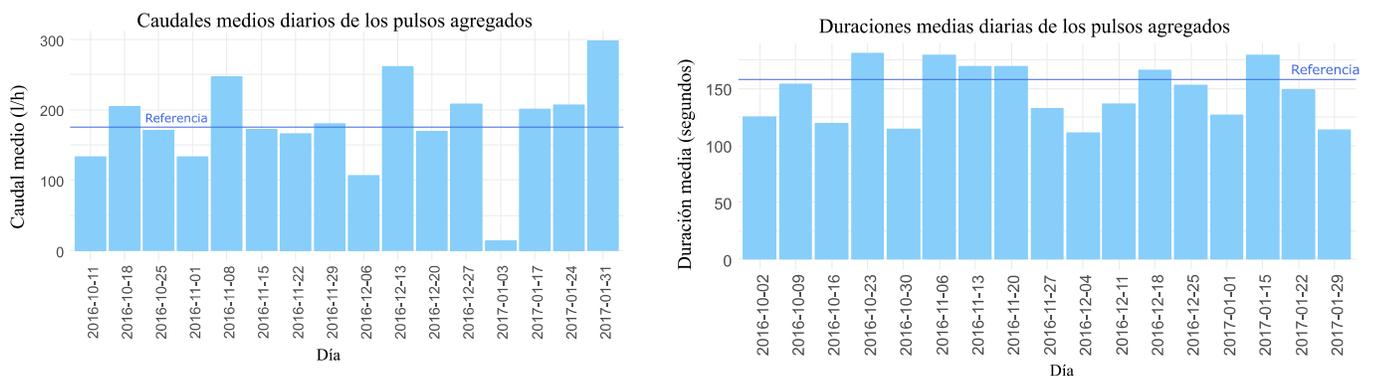


Figura 4 | Comparación de duraciones medias y caudales medios por día.

Una vez en este punto, sí es factible definir con valores medios diarios las características de referencia, facilitando la implementación de estas variables en la creación del algoritmo. Se obtiene por tanto, un valor de referencia para cada día de la semana, mediante un método basado en una menor complejidad respecto al parámetro del volumen. Estas características físicas de los pulsos sí quedan perfectamente definidas con un valor de referencia medio para cada día de la semana, resultando un total de siete valores de referencia por cada uno de los dos parámetros en estudio durante esta etapa.

La forma de ponderar la idoneidad de los días vuelve a ser el error cuadrático para estas dos variables es la que se muestran en la Ecuación (4) y Ecuación (5). Se ha calculado el error para cada día aplicando las siguientes fórmulas con la duración en milisegundos y el caudal en l/h.

$$Error_{cau} = (Q_{referencia} - Q_i)^2 \tag{4}$$

$$Error_{dur} = (D_{referencia} - D_i)^2 \quad (5)$$

## Función objetivo

Una vez conseguido cuantificar la idoneidad de los días en torno a las tres principales variables analizadas, se unifican bajo un mismo criterio mediante una función objetivo que minimice el error conjunto. Para normalizar estas tres variables y puedan ser objeto de comparación entre ellas, se emplea un criterio que, además de realizar la mencionada función, aporta otro enfoque de aplicación adicional añadido a la metodología.

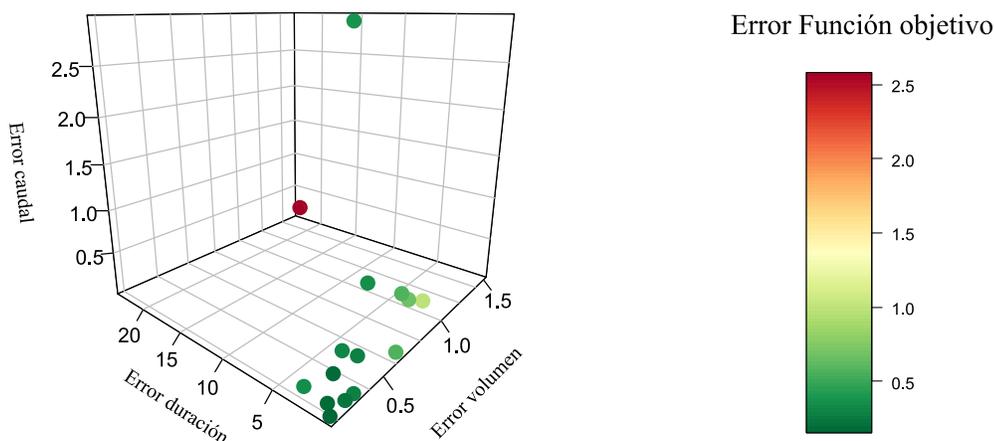
Las tres variables han sido normalizadas respecto al valor máximo sin tener en cuenta los datos atípicos, i.e., el valor máximo que no supere una referencia resultante de la suma del tercer cuartil más 1.5 veces el rango intercuartílico (diferencia entre el tercer cuartil y el primero). Se vuelve a emplear la herramienta gráfica box-whisker con el fin de filtrar los outliers, esta vez con otro objetivo, ya que la práctica más común hubiera sido utilizar como valor de normalización el valor máximo total.

Este método penaliza mucho más a los valores extremos atípicos por el que se detectan fugas no continuas en el tiempo, que pueden ser debidas al enganche de una cisterna o goteo de grifos mal cerrados. A su vez, permite establecer un umbral de caudal por el que se detectan fugas continuas. Ello es debido a la existencia de consumo continuamente, por lo que el algoritmo de agrupación de pulsos nunca detecta el fin de pulso y las duraciones son desmesuradas, a la par que los caudales medios son extremadamente bajos.

Una vez concluido el paso anterior, se aplica la Ecuación (6) que va a crear el error conjunto total, para posteriormente seleccionar los días de la semana que menor error presenten.

$$Error_{total} = w1 \left( \frac{Error_{vol}}{V_{max.repr}} \right) + w2 \left( \frac{Error_{dur}}{D_{max.repr}} \right) + w3 \left( \frac{Error_{cau}}{Q_{max.repr}} \right) \quad (6)$$

Cada parámetro se encuentra ponderado por un peso específico para cada caso de aplicación. Los pesos resultantes de la calibración llevada a cabo en este estudio toman los valores  $w1 = 0.9$ , y a los pesos  $w2 = w3 = 0.05$ . Esta diferencia de ponderación tan marcada es debida a la calidad de los inputs con los que se ha trabajado, siendo los valores referentes al volumen más precisos y representativos que los referentes a la duración y el caudal.



**Figura 5** | Representación de la idoneidad de los días analizados tras aplicar la metodología propuesta.

En la Figura 5 se representan todos los lunes monitorizados de la Vivienda 2 una vez cuantificados su idoneidad por medio de la función objetivo. El día que representa a los lunes de dicha vivienda será el que minimice el valor resultante de la

función objetivo. Se muestra en color rojo los días en el que el consumo ha sido anómalo, y mediante una escala de color que aumenta en verde según se acerque al día de mayor representatividad del período.

En el diseño se ha tenido en cuenta fijar como criterio en el algoritmo un caudal medio a modo de umbral de 100 l/h, por lo que si en el período de monitorización el valor medio es inferior al umbral, pone en aviso de la existencia de fuga continua.

Las fugas ocasionales y los consumos anómalo también son detectados a la hora de procesar el error de los datos gracias al criterio seguido que penaliza en mayor medida los consumos atípicos.

## Software BuntBrainForEndUses

El software empleado para la edición de los consumos residenciales es BuntBrainForEndUses, una plataforma online que permite el análisis de los microcomponentes a partir de la información recabada en la campaña de monitorización y cargada a la base de datos que alimenta a la aplicación. Este software ha sido desarrollado por el ITA (Universitat Politècnica de València) en colaboración con BuntPlanet Company.

Una de las principales ventajas que presenta es que el almacenamiento en base de datos de la información recogida está optimizado mediante técnicas Big Data. Otra de sus ventajas es que el acceso y su procesado de dicha información se realizan mediante interfaz web.

La desagregación manual ya es por sí misma un proceso de muy lenta ejecución, pero si no se dispone de una calidad óptima de los inputs este proceso se ve dificultado, entorpeciendo de modo exponencial. Debido al modo en el que se registra la información se crean uniones ficticias de caudales, dado que se registra cada 0.1 litros y el caudal se calcula indirectamente con el tiempo transcurrido entre registros, el primer 0.1 litros de cada pulso se reparte entre el tiempo que no se ha producido consumo. En función del tiempo transcurrido entre pulsos que se pretenda eliminar la unión ficticia de los mismos, hay que tratar los datos con un caudal umbral designado, mediante el empleo de la Ecuación (7).

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{0.1 \text{ l} * 60 \text{ min}}{Q_{\text{umbral}}} = \text{minutos entre pulsos sin unión ficticia} \quad (7)$$

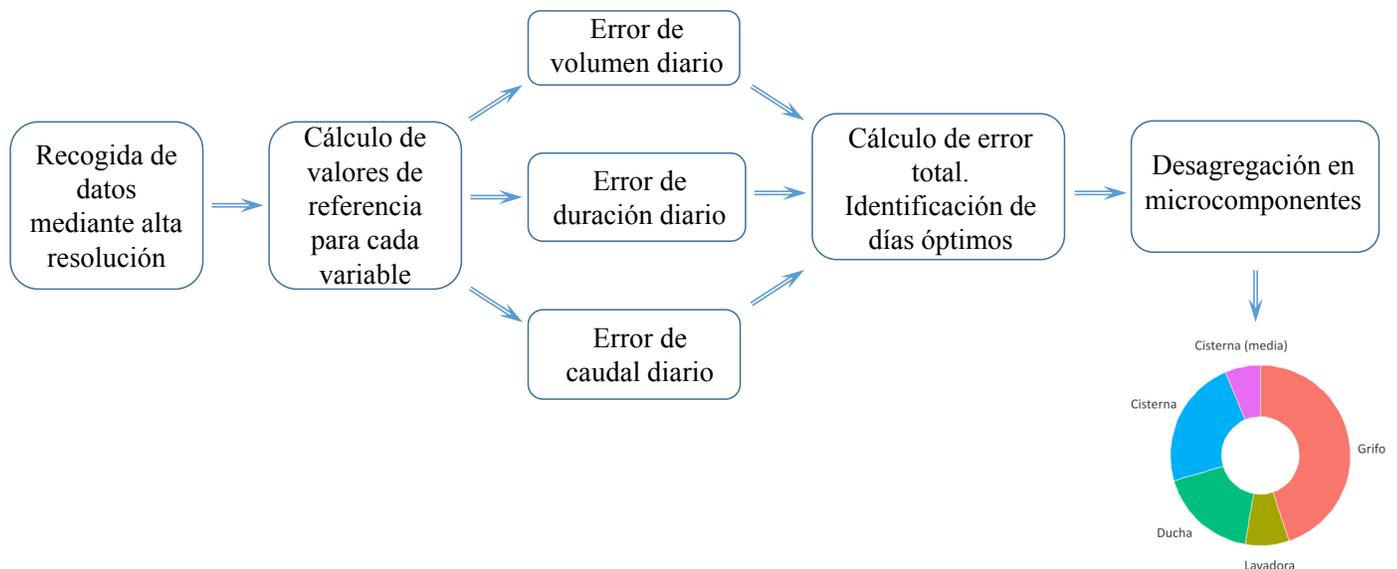


Figura 6 | Síntesis del proceso de análisis de microcomponentes para un período extenso.

## RESULTADOS

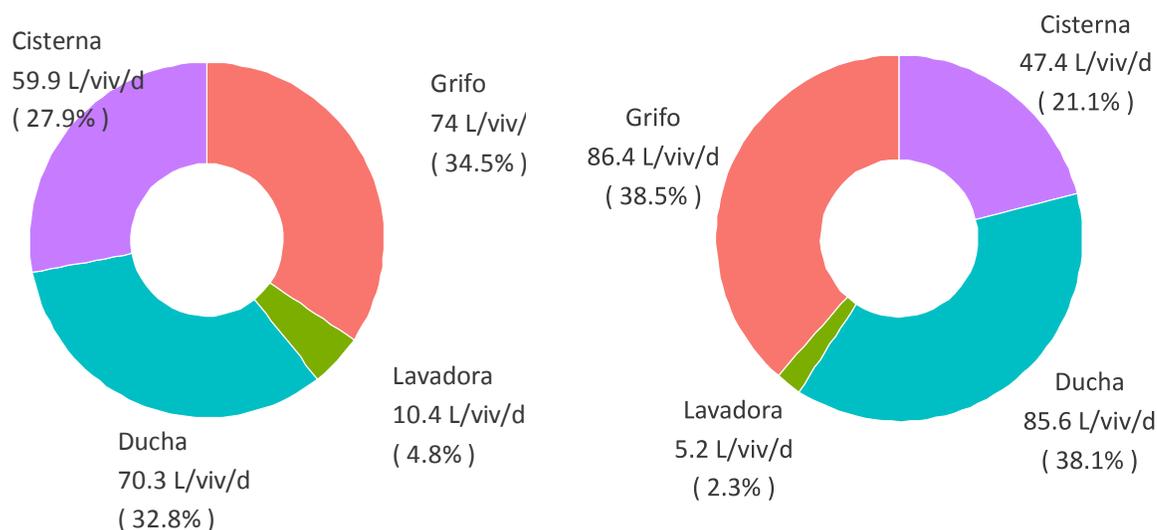
El empleo de la metodología propuesta permite acercarse fielmente a los porcentajes del período completo de monitorización gracias a la adecuada selección de los días representativos (Tabla 1). Se ha realizado un análisis de sensibilidad en 3 viviendas para determinar la influencia de la elección de una semana aleatoria dentro del período o los 7 días resultantes de aplicar la metodología. Las comparaciones se muestran en las Figura 7, Figura 8 y Figura 9. Al seleccionar la semana al azar, los caudales medios diarios comparados no son iguales, puesto que la semana al azar no representa el consumo a lo largo del período, por lo que los porcentajes de los microcomponentes que componen la demanda no representan al período, y sí los obtenidos mediante el empleo de la metodología desarrollada.

$$\%_{uso\ final} = \frac{\sum V_{uso\ final}}{n * \sum V_{usos\ finales}} \quad (8)$$

La distribución de los usos finales que se detallan en los gráficos circulares de la Figura 7, Figura 8 y Figura 9 muestran los porcentajes medios de volumen para cada microcomponente de la demanda detectados en las viviendas desagregadas. Los porcentajes medios han sido obtenidos a partir de los valores medios de los consumos clasificados por uso final, siguiendo la Ecuación (8). En estas viviendas no se han detectado los usos finales lavavajillas y fugas interiores.

En la Figura 7 la variabilidad representada no es muy significativa debido a que probablemente en la Vivienda 1 mantengan rutinas constantes. Teniendo en cuenta que se trata de una vivienda con un consumo bajo, las oscilaciones que puedan producirse serán menores respecto a las viviendas con un mayor consumo. Es la vivienda que más se asemeja a los porcentajes de los estudios que se han llevado a cabo en Australia (Tabla 2).

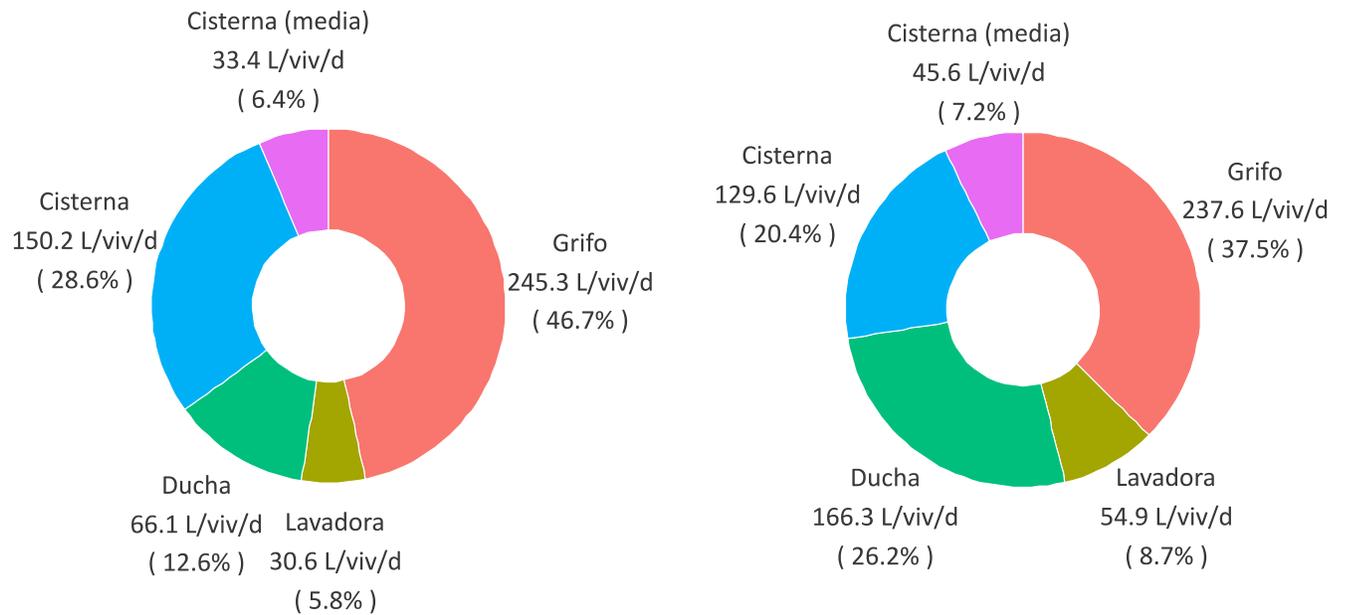
### Comparación de la distribución de usos finales Vivienda 1



**Figura 7** | Comparación de desagregación de días óptimos (Izq.) frente a período al azar (Dcha.) en la Vivienda 1.

La Vivienda 2 de la Figura 8 muestra un consumo medio de mayor importancia, con lo que se deduce que conviven mayor número de personas en el domicilio. A mayor número de ocupantes mayor será la incertidumbre del error respecto a elegir una semana u otra para la desagregación de usos finales.

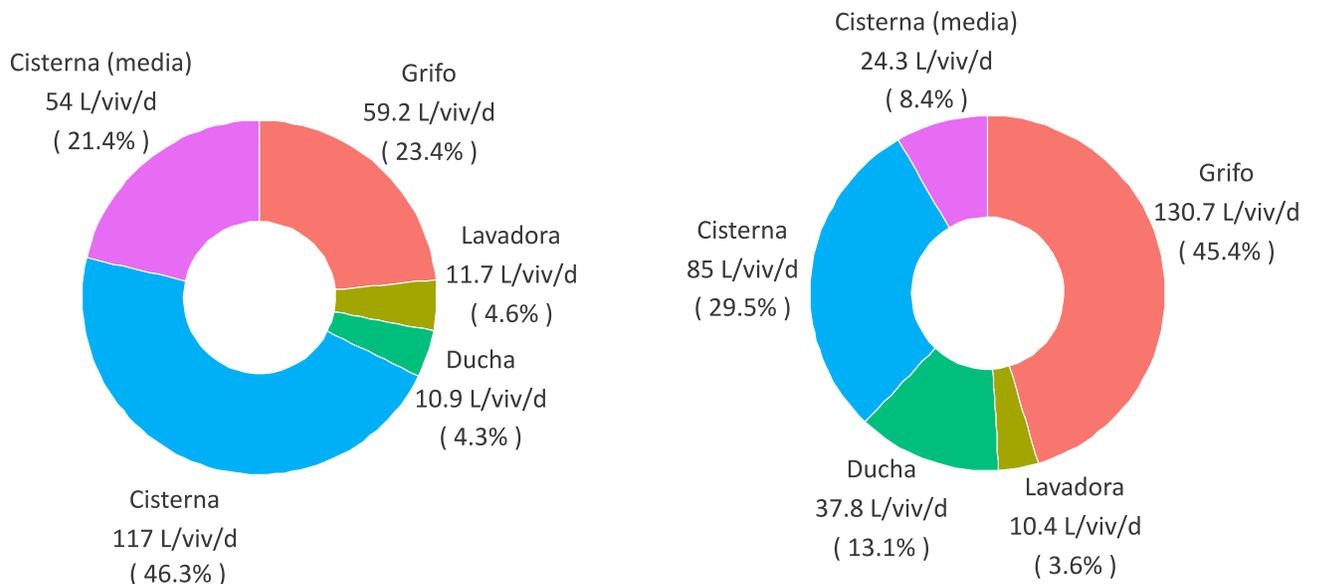
### Comparación de la distribución de usos finales Vivienda 2



**Figura 8** | Comparación de desagregación de días óptimos (Izq.) frente a período al azar (Dcha.) en la Vivienda 2.

La Vivienda 3 de la Figura 9 es la que mayor variabilidad de porcentajes muestra en función del período escogido. Por esta razón es muy importante elegir el período correcto más representativo, para evitar lo que ocurre en este usuario. Aun así, en este caso concreto, no presenta los consumos típicos, siendo el mayor peso el volumen consumido por cisternas y medias cisternas.

### Comparación de la distribución de usos finales Vivienda 3



**Figura 9** | Comparación de desagregación de días óptimos (Izq.) frente a período al azar (Dcha.) en la Vivienda 3.

Una vez analizados los microcomponentes obtenidos destaca el porcentaje tan escaso en el uso final ducha, ya que es un componente a la que se asocian volúmenes grandes en cada evento. Las razones pueden abarcar causas de diversa índole, desde que sea debido al estilo de vida de los ocupantes no tomen duchas en casa y lo hagan en el gimnasio o trabajo, hasta que lo realicen en intervalos extremadamente pequeños y sean confundidos con el uso grifo.

**Tabla 1** | Días resultantes para la Vivienda 1.

Día	Fecha	Error volumen	Error duración	Error caudal	Error total
Lunes	24/10/2016	0.11927574	0.44817523	0.29149209	0.14433153
Martes	11/10/2016	0.36862751	0.18037828	0.19374706	0.35047102
Miércoles	30/11/2016	0.05751379	0.00527445	0.06118443	0.05508536
Jueves	12/01/2017	0.24244924	0.44493617	0.2240954	0.25165589
Viernes	18/11/2016	0.05147131	0.18814284	0.00221641	0.05584214
Sábado	03/12/2016	0.13279441	0.0346772	0.21376977	0.13193732
Domingo	11/12/2016	0.22450988	0.05665319	0.6190372	0.23584341

En los estudios que se han llevado a cabo en diversas ciudades de Europa, Norteamérica y Australia, se observa la existencia de grandes variaciones en los porcentajes de volúmenes de agua destinada a cada uso final. El estudio llevado a cabo en Madrid por Cubillo et al. (2008) en la Tabla 2 es el que guarda mayor similitud en cuanto a los resultados obtenidos en el caso de aplicación.

**Tabla 2** | Resultados de estudios previos de análisis de microcomponentes.

	(Mayer y DeOreo, 1999)	(Mayer et al., 2004)	(Cubillo et al., 2008)	(Mead y Aravinthan, 2009)	(DeOreo et al., 2011)
Ducha (%)	16.8	29.8	27	46	22
Lavadora (%)	21.7	20.1	11	24.8	14
Cisterna (%)	26.7	22.2	23	12.76	32
Grifo (%)	15.7	16	35	15.5	19
Lavavajillas (%)	1.4	1.4	1	-	1
Fugas (%)	13.7	9.4	3	0.4	12

Tras la comparación de los resultados con el resumen recogido en la Tabla 2, queda de manifiesto que los porcentajes de consumo destinados a cada uso final se encuentran afectados por factores estacionales, geográficos, económicos y culturales, ya que varían significativamente de un estudio a otro.

Los pulsos de consumo clasificados como grifos llevan asociados volúmenes con gran dispersión, ya que la variabilidad de la duración con la que se hace empleo de ellos es importante. Este es un resultado lógico, debido a que el grifo se emplea en multitud de actividades en el interior de la vivienda.

Los pulsos asignados al uso final ducha son los que mayores volúmenes acaparan, ya que se caracteriza por tener asociado un caudal alto y una duración elevada.

La lavadora es el uso que se caracteriza por requerir el servicio con caudales medios entre los grifos y las duchas. Los volúmenes asociados dependen del programa que se emplee en cada caso, con lo que genera cierta dispersión aun siendo máquinas automatizadas.

Las cisternas son el uso con menor dispersión, ya que salvo alguna excepción debida al enganche de la cisterna, siempre requiere el mismo volumen de llenado. El solapamiento de usos y la precisión del contador hacen que el volumen asignado varíe ligeramente entre pulsos.

---

## CONCLUSIONES

El principal objetivo por el que se desarrollan estudios de desagregación de usos es conocer el volumen asociado a cada microcomponente. Estos porcentajes de consumo arrojan información sobre cómo se realiza el consumo de agua dentro de cada vivienda, lo que permite estudiar el comportamiento con el fin de aplicar mejoras en la eficiencia del consumo. Aplicar medidas de gestión de la demanda específicas para cada usuario hace posible que sean capaces de moderar su consumo, fundamentándolas en la identificación, y posterior corrección, de los malos hábitos adquiridos. Por tanto, para conseguir un ahorro de agua de forma efectiva es necesario devolver un feedback al usuario final una vez concluido el estudio, donde se detallen las sugerencias prácticas de mejora.

La variable de mayor importancia que influye en la elección de los días es el volumen consumido. A su vez, se ha realizado una caracterización del consumo teniendo en cuenta la forma en la que el volumen es consumido a lo largo del día, analizando el error que se produce hora a hora respecto a un valor de referencia. Se pretende así, seleccionar los días que plasman una evolución media del consumo que se produce en un determinado día. El proceso se completa con otras dos características de los pulsos de consumo, caudal medio y duración. Una vez se cuantifican los errores de los tres parámetros respecto a sus referencias perseguidas, se localizan los días para proceder a su desagregación manual.

El empleo de este método permite localizar fugas, ya sean aisladas en el tiempo (debidas a goteo de grifos o cisternas, por ejemplo), o fugas interiores continuas. Las fugas continuas se identifican debido a que el caudal medio y la duración de referencia de los pulsos adquieren valores minúsculos. Por otro lado las fugas ocasionales y los consumos anómalos también son detectados a la hora de procesar el error de los datos gracias al criterio seguido que penaliza en mayor medida los consumos atípicos en referencia al consumo que realiza cada usuario.

El análisis de sensibilidad realizado en las 3 viviendas pone de manifiesto que los porcentajes de cada microcomponente varían de forma significativa, por lo que es de vital importancia la selección de los días a procesar. Así mismo, si no se sigue el proceso desarrollado y se escogen los días al azar, no sólo influye en el porcentaje de cada microcomponente, sino en el volumen diario medio, por lo que los resultados no caracterizan en absoluto la monitorización extendida realizada.

---

## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se ha realizado gracias a la ayuda del Grupo Global Omnium, cuya Cátedra en la Universitat Politècnica de València ha financiado a través de una beca de colaboración en el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.

---

## REFERENCIAS

### Libros

Arregui, F., Cobacho, R., Cabrera, E. 2006. Integrated water meter management. London: IWA Publishing, 2006.

## Publicaciones periódicas

Alias, A. H., Boyle, C. A., Hassim, S. 2017. Water Demand Management: a review on the mechanisms to reduce water demand and consumption. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)* Volume 8, Issue 3, March 2017, Pp. 554–564 Article ID: IJCIET\_08\_03\_054, 8(3), 554–564.

Cominola, A., Giuliani, M., Piga, D., Castelletti, A., Rizzoli, A. E. 2015. Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: A review. *Environmental Modelling and Software*, 72, 198–214. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.07.012>

Jorgensen, B., Graymore, M., O'Toole, K. 2009. Household water use behavior: An integrated model. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 227–236. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.009>

Makki, A. A., Stewart, R. A., Beal, C. D., Panuwatwanich, K. 2015. Novel bottom-up urban water demand forecasting model: Revealing the determinants, drivers and predictors of residential indoor end-use consumption. *Resources, Conservation and Recycling*, 95, 15–37. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.009>

McDonald, R. I., Douglas, I., Revenga, C., Hale, R., Grimm, N., Grönwall, J., Fekete, B. 2011. Global Urban Growth and the Geography of Water Availability, Quality, and Delivery. *AMBIO*, 40(5), 437–446. <http://doi.org/10.1007/s13280-011-0152-6>

Mead, N., Aravinthan, V. 2009. Investigation of household water consumption using smart metering system. *Atlantis*, 11(1–3), 144–150. <http://doi.org/10.5004/dwt.2009.8>

Nguyen, K. A., Stewart, R. A., Zhang, H. 2013. An intelligent pattern recognition model to automate the categorisation of residential water end-use events. *Environmental Modelling and Software*, 47, 108–127. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.05.002>

Nguyen, K., Stewart, R. A., Zhang, H. 2014. Expert Systems with Applications An autonomous and intelligent expert system for residential water end-use classification. *Expert Systems With Applications*, 41(2), 342–356. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.049>

Rowlands, I. H., Reid, T., Parker, P. 2015. Research with disaggregated electricity end-use data in households: review and recommendations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 4(5), 383–396. <http://doi.org/10.1002/wene.151>

Sadalla, E., Berlin, A., Neel, R., Ledlow, S. 2014. Priorities in Residential Water Use: A Trade-Off Analysis. *Environment and Behavior*, 46(3), 303–328. <http://doi.org/10.1177/0013916512456286>

Stewart, R. A., Willis, R., Giurco, D., Panuwatwanich, K., Capati, G. 2010. Web-based knowledge management system: linking smart metering to the future of urban water planning. *Australian Planner*, 47(2), 66–74. <http://doi.org/10.1080/07293681003767769>

Uchenna, N., Lartey, A., Ugruji, F., Nwaneri, S. 2009. The dynamics of water depletion and global warming. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009 (Vol. 3, Pp. III-627)*. IEEE., 627–630.

## Informes

Beal, C., Stewart, R. A. 2011. South East Queensland Residential End Use Study: Final Report, (47), 1–174. <http://doi.org/http://www.urbanwateralliance.org.au/publications/UWSRA-tr47.pdf>

Cubillo, F., Moreno, T., Ortega, S. (2008). Cuadernos de I+D+I. Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid.

DeOreo, W. B., Mayer, P. W. 2013. Residential End Uses of Water, 16. <http://doi.org/4309b>

Mayer, P. W., DeOreo, W. B. 1999. Residential End Uses of Water. Aquacraft, Inc. Water Engineering and Management, 310. <http://doi.org/4309b>

### **Consultas online**

Ine.es. (2016). Instituto Nacional de Estadística. (Spanish Statistical Office). [online] Available at: <http://www.ine.es/>