

Simplificación en el reconocimiento de usos finales del agua mediante la depuración de la traza de caudal

L. Pastor^a, F. Arregui^b, R. Cobacho^c

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, ^alaupasja@ita.upv.es, ^bfarregui@ita.upv.es, ^crcobacho@ita.upv.es

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

RESUMEN

Las distorsiones inherentes a la traza de caudal son una de las principales dificultades encontradas al enfrentar la desagregación automática en usos finales de agua. Se ha desarrollado un algoritmo de filtrado para depurar dichas distorsiones y simplificar el proceso de desagregación. El desempeño de este nuevo filtro se evalúa mediante el análisis de 52 eventos, los cuales son seleccionados en función de tres indicadores de complejidad. Estos datos provienen de dos estudios de usos finales del agua en los cuales se emplearon equipos de medición diferentes. Los resultados obtenidos muestran que, en media, el 78.9% de los puntos de las trazas de caudal más complejas son suprimidos, con el ahorro en memoria de almacenamiento que ello conlleva. No obstante, se respetan las tendencias marcadas por los datos de entrada, en tanto que el valor medio de Kling-Gupta efficiency alcanzado para la sub-muestra examinada está en torno a 0.8.

Palabras clave | filtrado; usos finales del agua; microcomponentes del agua; datos de contadores inteligentes; desagregación de traza de caudal residencial

INTRODUCCIÓN

La mejora del uso eficiente del agua en áreas urbanas es uno de los objetivos señalados a nivel internacional (UNEP, 2011) para afrontar los retos futuros que plantean la creciente demanda de la población, las limitaciones impuestas por el recurso hídrico disponible y el impacto del cambio climático. La gestión de la demanda es uno de los instrumentos que permiten la consecución de este objetivo, cuyo principal dato de entrada radica en el conocimiento de cuándo, cómo y quién hace uso del agua.

El análisis de usos finales del agua es una potente herramienta que brinda efectivo soporte a la gestión y modelación de la demanda de agua urbana. El desarrollo de los equipos inteligentes de medición con alta resolución ha hecho viable la caracterización precisa de los perfiles de consumo de usos finales (Cominola et al., 2015), los cuales podrían ofrecer retroalimentación ad-hoc para cada usuario que promueva cambios en su comportamiento hacia la eficiencia (Fielding et al., 2013). No obstante, este tipo de estudios requiere análisis de trazas de caudal que conllevan una gran inversión en tiempo y capital humano, no viable desde el punto de vista económico (Nguyen et al., 2013a). Por esta razón, se hace necesario el desarrollo de herramientas automáticas de desagregación y clasificación en usos finales.

El filtro de las trazas de caudal es el paso previo a las operaciones que integran las herramientas automáticas de análisis de usos finales del agua. El principal propósito que persigue es depurar los inicios y finales de evento, así como los cambios de rasante. En consecuencia, el filtrado condiciona la desagregación, a través de la cual es posible determinar las características físicas de los eventos individuales (volumen, caudal medio y duración, entre otros). Dichas características constituyen el dato de entrada de la operación de clasificación. Por este motivo, su desempeño depende de que éstas sean representativas del uso final que debe asociarse a cada evento. En definitiva, el filtro de la traza de caudal afecta al resto de procesos y de ahí su importancia.

Las herramientas comerciales disponibles actualmente en este campo (Trace Wizard® (DeOreo et al., 1996), Identiflow® (Kowalski y Marshallsay, 2003) y BuntBrainForEndUses (Arregui, 2015)) están descritas someramente en la V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

literatura científica y no se ha encontrado evidencia sobre si emplean algún tipo de filtro. Por otro lado, Larson et al. (2012) proponen un enfoque alternativo basado en datos recogidos a través de sensores de presión. En este caso, las estrategias de filtrado utilizadas se describen con detalle, si bien el tipo de señal que procesan es distinto al obtenido a través de los contadores de agua, por lo que no son aptos para la depuración de la traza de caudal. El desarrollo del filtro presentado en este trabajo toma como punto de partido el trabajo llevado a cabo por Nguyen et al. (2013b). El filtro que emplean, *gradient vector filtering*, se basa en examinar el cambio de gradiente a lo largo de la serie de caudal. Las fluctuaciones que no son debidas al inicio o fin de un evento son identificadas en tanto que el gradiente asociado queda por debajo de un cierto umbral. Al aplicar este filtro a la colección de datos disponible para el presente estudio, se observaron ciertas imprecisiones que dificultaban la posterior desagregación de un evento solapado. Es por ello que se hizo necesario el desarrollo de un filtro que superara dichas imprecisiones.

El algoritmo de filtrado expuesto complementa el análisis del gradiente con comprobaciones de volumen y saltos de caudal. R (R Core Team, 2013) es el lenguaje de programación seleccionado para escribir el código del filtro, el cual no necesita para ser ejecutado ningún paquete de R. El desempeño del filtrado de la señal es evaluado mediante el análisis de 52 eventos, que han sido seleccionados según tres indicadores de complejidad de la traza de caudal. Estos proceden de dos estudios de usos finales del agua en los que se emplearon equipos de monitorización diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Arquitectura del filtro

Esencialmente, el algoritmo de filtrado tiene que emular las simplificaciones mentales que un ser humano lleva a cabo cuando procesa un evento de consumo. Por ejemplo, cuando un evento solapado es recortado manualmente, el analista no confunde los saltos de caudal debidos al ruido de la señal con aquellos que corresponden al inicio o fin de un evento individual. Ignorar los primeros implica una simplificación. En línea con esta idea, la subrutina propuesta calcula en primer lugar las características físicas de la traza de caudal (ej. cambios de gradiente o magnitud de un salto de caudal). A continuación, estas características son comparadas con una serie de umbrales. Finalmente, una simplificación de la traza se aplica siempre y cuando ciertas condiciones basadas en dichos umbrales se cumplan. En total, ha sido necesario definir 10 umbrales, los cuales constituyen los parámetros de entrada del algoritmo de filtrado.

El proceso general descrito se detalla seguidamente. El filtro se ha dividido en 4 bloques. El primero persigue el objetivo de suprimir los saltos de caudal que corresponden al ruido de la señal. Se han considerado tres tipos principales de ruido (Figura 1): i) *Ruido puro*, que se define como aquel volumen por debajo de un umbral que está contenido entre dos saltos de caudal consecutivos de igual magnitud y distinto signo; ii) *Ruido de fisura*, que conceptualmente es similar al anterior, se diferencia en el hecho de que el volumen contenido corresponde a un hueco en vez de a un saliente; iii) Ruido a inicio o fin de una rasante. Por tanto, para caracterizar estos tipos de ruido se hace necesario determinar el volumen y el gradiente que corresponden a un salto de caudal. Dado un vector $\mathbf{tc}=(tc_1, tc_2, \dots, tc_i, \dots, tc_m)$, que contiene la traza de caudal expresada en litros por hora (L/h) registrada para cada instante t_i en milisegundos (ms), el vector de saltos de caudal $\mathbf{s}$ y el vector de ventanas temporales $\mathbf{vt}$ se definen como:

$$s_j = tc_{j+1} - tc_j, \quad 1 \leq j < n \quad (1)$$

$$vt_j = t_{j+1} - t_j, \quad 1 \leq j < n \quad (2)$$

Donde el índice j se refiere a aquellos puntos de $\mathbf{tc}$ que satisfacen la siguiente condición:

$$tc_{i+1} - tc_i \neq 0, \quad 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

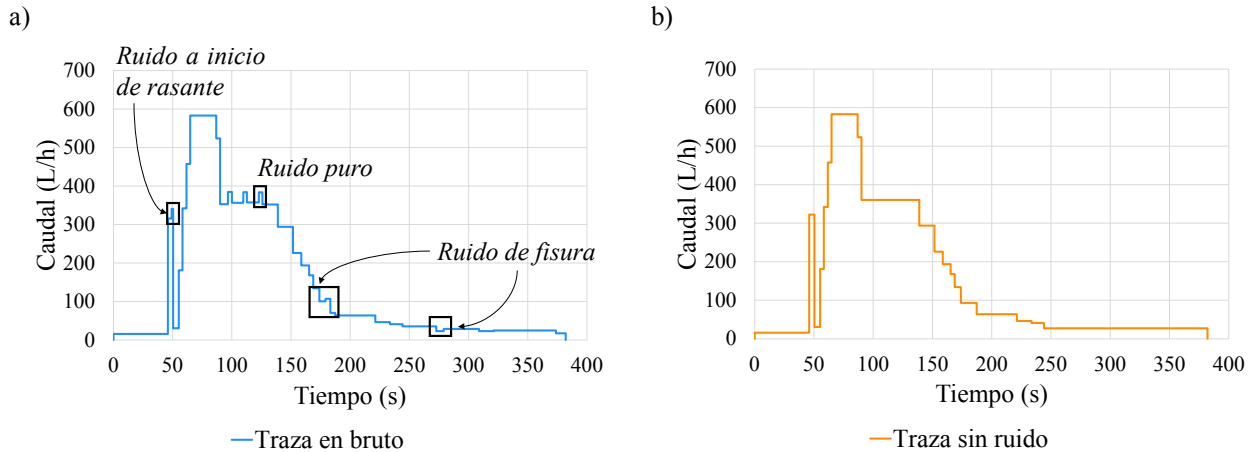


Figura 1 | a) traza de caudal en bruto de un evento solapado con los distintos tipos de ruido señalados sobre ella; b) traza de caudal obtenida después de la depuración del ruido.

A partir de los vectores $\mathbf{s}$ y $\mathbf{vt}$, el vector volumen $\mathbf{v}$ se define como:

$$\begin{cases} v_j = |s_j| * vt_j, & \text{si } s_j > 0 \\ v_j = |s_j| * vt_{j-1}, & \text{si } s_j < 0 \end{cases}, \quad 1 \leq j < n \quad (4)$$

Por otro lado, para calcular el vector gradiente $\mathbf{g}$ es necesario crear un parámetro de escala ($p1$, valores entre 130 (h*ms)/L y 170 (h*ms)/L) para asegurar que el gradiente aumenta lentamente en función de la magnitud del salto de caudal ($vt_i > 6000$ ms), con lo que:

$$g_j = p1 * s_j / vt_j, \quad 1 \leq j < n \quad (5)$$

Además de $p1$, en este bloque se han establecido cuatro parámetros más: a) *volumen máximo* ($p2$) contenido por el ruido puro o de fisura (rango de valores permitidos entre 0.1 litros y 0.18 litros); b) *salto de caudal máximo* ($p3$) para tener en cuenta la posibilidad de existencia de ruido de fisura (puede tomar valores entre 40 litros/hora y 120 litros/hora); c) *diferencia máxima de gradiente* ($p4$) expresada en grados, a partir del cual se considera que se produce realmente un cambio de gradiente y comienza o finaliza una rasante (el límite superior es 75 grados y el inferior 30 grados); d) *porcentaje de una rasante completa* ($p5$) que supone el primer o último salto de caudal que pertenece a la misma, de forma que si simultáneamente es superado el umbral de porcentaje y se cumplen las condiciones de ruido de fisura, el salto no sea suprimido, ya que en caso contrario la rasante podría quedar distorsionada (valores entre 0.001% y 10%). El resultado final obtenido se muestra en la Figura 1 (*Traza sin ruido*).

El siguiente bloque de operaciones lleva a cabo el análisis del gradiente. Tal y como el cálculo del gradiente ha sido definido puede conducir a error con respecto a la detección del inicio o el fin de una sección con pendiente. Esto se observa en el ejemplo de la Figura 2, donde una bajante partida en dos tramos se interpretaría como una única rasante (línea discontinua), dado que el gradiente se mantiene en valores relativamente altos a lo largo de la misma (Figura 2). La solución adoptada es forzar a que el algoritmo tenga en cuenta en el cálculo del gradiente un punto auxiliar cuando se cumple que el salto de caudal y la ventana temporal están por encima de cierto umbral. También se considera un punto extra en aquellos tramos donde se produce un cambio de signo en el gradiente. En consecuencia, ha sido necesario definir 4 parámetros: a) *Salto de caudal mínimo* ($p6$, valores entre 40 L/h y 120 L/hora); b) *ventana temporal mínima* ($p7$, valores entre 5000 ms y 14000 ms); c) Otros dos parámetros referentes a la ventana temporal creados ad-hoc para el tratamiento de pulsos de duración corta (menor a 5 min): *ventana temporal mínima* ($p8$, rango de variación entre 3000 ms y 11000 ms) y *porcentaje mínimo* ($p9$) que dicha ventana temporal supone respecto a la duración total del pulso (puede oscilar entre el 0.001% y 10%). El resultado obtenido al finalizar

esta operación se muestra en la Figura 2 (*Gradiente depurado*). Una vez corregido el gradiente, cada tramo es clasificado como *horizontal* o *con pendiente*. Para ello es necesario establecer el último parámetro de entrada al filtro, el *gradiente máximo* ($p10$) por debajo del cual se considera que un tramo es horizontal (puede tomar valores entre 3 y 30 grados).

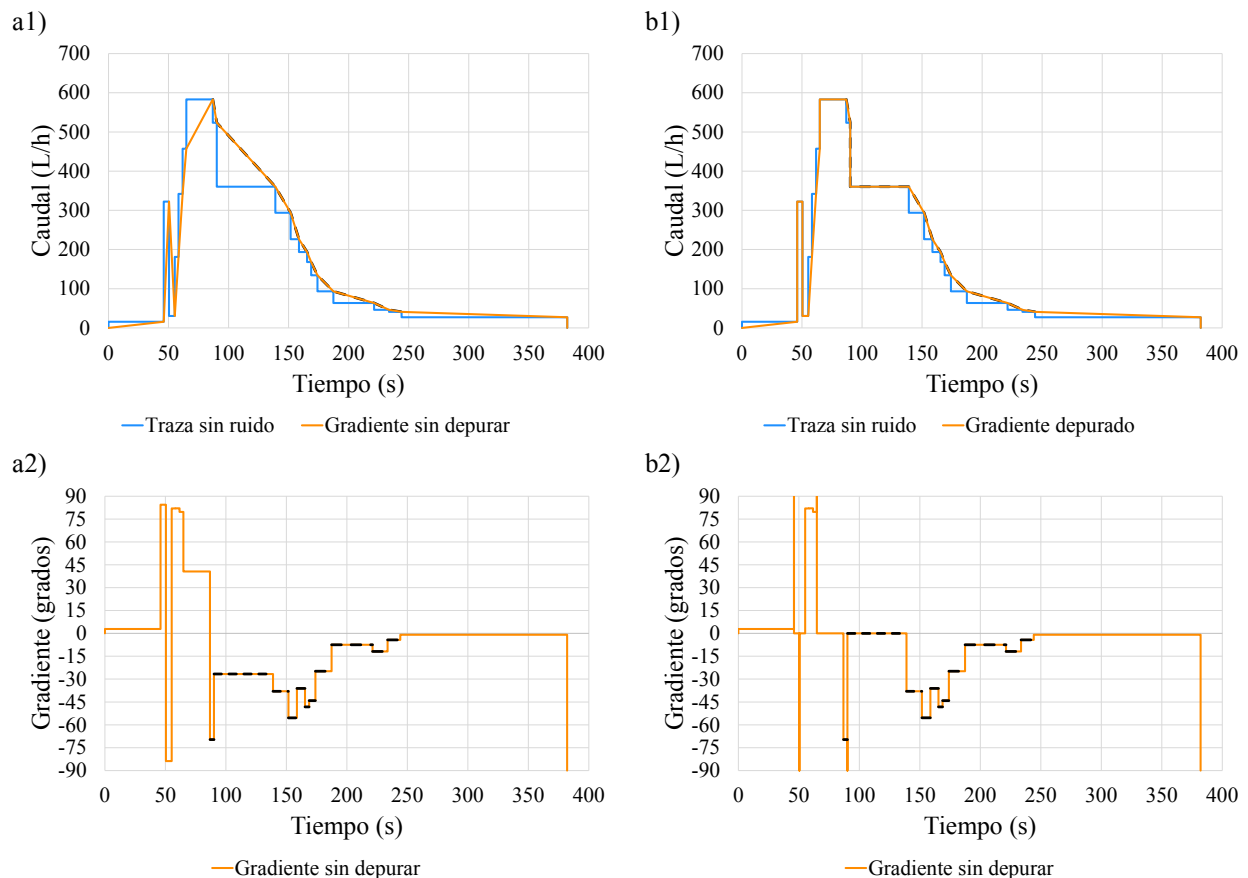


Figura 2 | a1) y a2) muestran, respectivamente, el gradiente sobre la traza de caudal y su magnitud expresada en grados, antes de realizar la corrección en el cálculo del gradiente (parámetro de escala adoptado de 150 litros/(h*ms)). b1) y b2) son análogas a las dos anteriores, pero parten del gradiente depurado.

El tercer bloque de código detecta las rachas de secciones clasificadas en la misma categoría (*horizontal* o *con pendiente*). Una vez delimitadas, si el salto de caudal asociado es menor que $p3$, esa racha se suprime por no ser su magnitud lo suficientemente importante como para considerarla el inicio o fin de un evento de consumo individual.

La última parte del código rectifica la traza de caudal output para aproximar su volumen al de la traza en bruto. En primer lugar, dada la misma ventana temporal, el algoritmo iguala el caudal de una sección horizontal con el caudal medio alcanzado en la traza original. Para las secciones restantes, su pendiente se ve incrementada para compensar un exceso o defecto de volumen contenido. La Figura 3 ilustra un ejemplo de esto, en la que se corrige un exceso de volumen (Figura 3, línea discontinua). El resultado obtenido al final del proceso completo se muestra en la Figura 3 (*Output*).

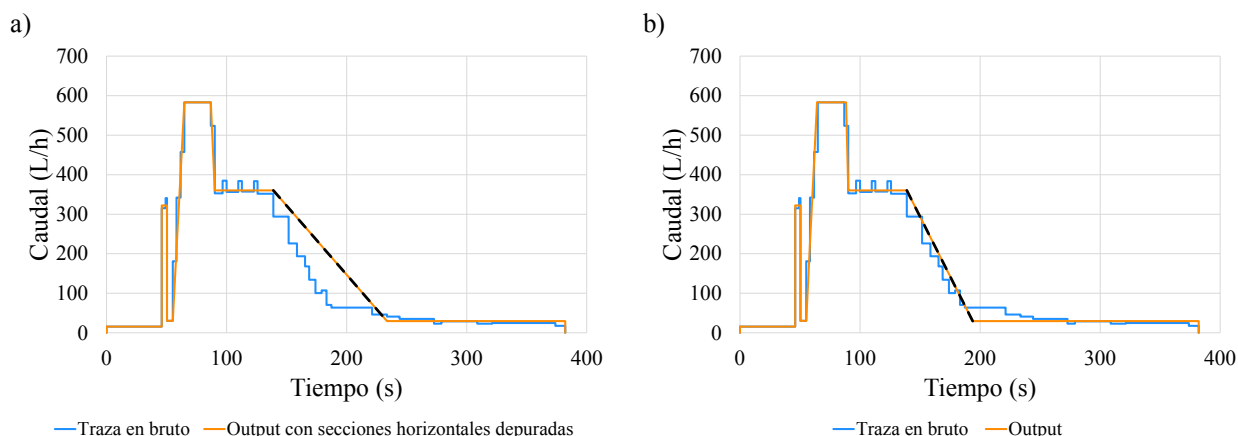


Figura 3 | a) traza de caudal con los tramos horizontales corregidos; b) resultado final del proceso completo de filtrado.

Selección de la muestra para la validación

Los datos empleados para testear la adaptación del filtro a la traza de caudal input provienen de dos estudios distintos sobre demanda de agua residencial, cuya localización no puede ser desvelada por motivos de confidencialidad. Una de las principales diferencias entre ambos es el tipo de equipos utilizados en la campaña de medición. En el estudio 1 (a partir de ahora E1) se emplearon contadores de chorro único ELSTER Y250 (caudal nominal de 4 m³/h) o ELSTER Y250M (caudal nominal de 6.3 m³/h) en función de la tipología de vivienda. Éstos producen un pulso cada 0.04 litros o 0.06 litros, respectivamente. Los *loggers* acumulaban el número de pulsos recibidos para un intervalo de aproximadamente de 3 segundos, ya que se registraba el tiempo real entre pulsos. Se optó por esta configuración para optimizar el peso de la información que era enviada al servidor vía GPRS/GSM. En el estudio 2 (a partir de ahora E2) se emplearon contadores Aquadis+ (ITRON) volumétricos de pistón rotativo (caudales nominales de 1.6, 2.5 y 4 m³/h), con una resolución de 0.1 litros por pulso. Los *loggers* registraban en esta ocasión el tiempo de ocurrencia de un pulso con una resolución de 0.01 segundos. Las diferencias señaladas en los equipos de medición y su configuración tienen trascendencia directa en las trazas de caudal: los casos de E1 presentan en general ruido suave y saltos de caudal escalonados, al contrario que los de E2, cuyos saltos de caudal son directos y el ruido presente es pronunciado (Figura 4). El propósito perseguido al tener en consideración ambos estudios es mostrar cómo el algoritmo presentado es capaz de adaptarse a casuísticas variadas.

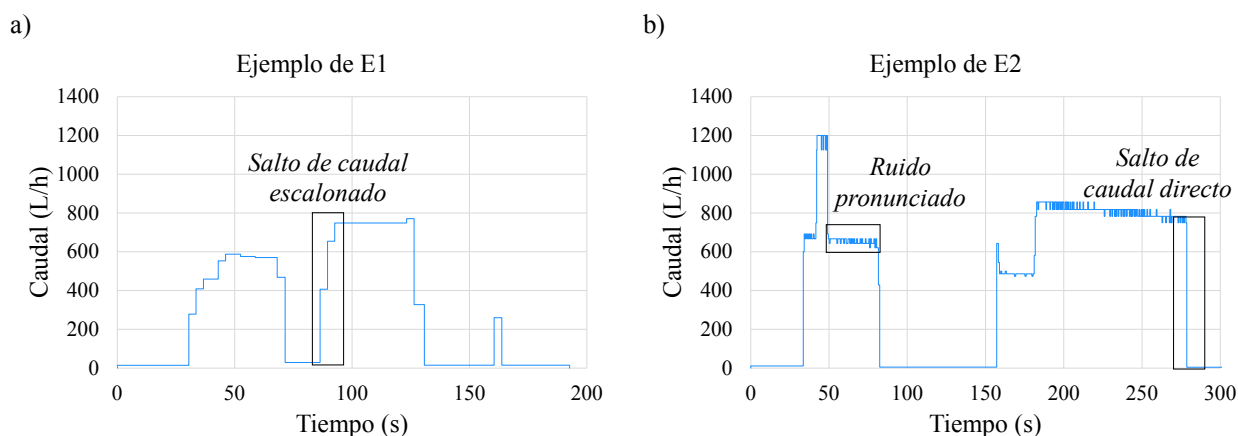


Figura 4 | a) ejemplo de un salto de caudal escalonado característico de los casos de E1; b) ejemplo del ruido pronunciado y los saltos de caudal directos que en general predominan en los eventos provenientes de E2.

En primer lugar, se llevó a cabo una selección de viviendas en función del consumo medio diario y la presencia o no de fuga continua. En total se han escogido 20 viviendas, 10 procedentes de E1 y 10 de E2. Debido a los rasgos particulares de cada estudio, en E2 eran más frecuentes los casos con consumos medios diarios altos y presencia de fugas. Normalmente, estas dos características conllevan eventos de mayor duración y un incremento de la simultaneidad de usos. En consecuencia, el filtro se enfrenta a mayores dificultades, ya que las trazas de caudal entrañan mayor complejidad. Con el propósito de aumentar la probabilidad de que este tipo de eventos estén presentes en la muestra analizada finalmente, la mayor parte de las viviendas de E1 tienen uno o ambos rasgos. Los casos de E2 están distribuidos uniformemente con respecto al consumo medio diario de la muestra original de este estudio (Figura 5).

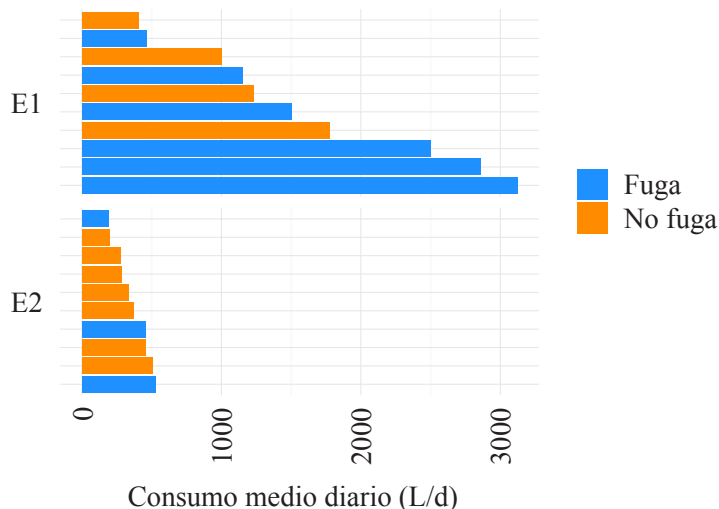


Figura 5 | Características de la muestra de viviendas seleccionada procedentes del estudio E1 y E2, que dota de datos de entrada al proceso de validación.

Del periodo de monitorización completo disponible de cada vivienda se han seleccionado 14 días, que provienen de lecturas tomadas en la época de otoño de 2015 en los casos de E1 y otoño de 2016 en los de E2. Ello suma una cantidad total de 21647 eventos. De entre estos, se ha escogido una sub-muestra de 52 eventos para ser analizados. En un intento de que incluya los casos más complejos posible, se han establecido tres indicadores para identificar la dificultad que implica la adaptación a una traza de caudal: i) la *duración* del evento, ya que mayor duración suele conllevar la ocurrencia de varios eventos que el filtro debe aproximar a la vez; ii) el *número de puntos* que definen la traza de caudal, que para eventos de igual duración es más alto en aquellos con alta presencia de ruido; iii) el *caudal máximo*, en tanto que a igual duración y número de puntos, eventos con mayor caudal máximo suelen mostrar mayor grado de solape, por lo que resulta ser una medida indirecta de la simultaneidad de usos. Así pues, en primer lugar, a partir de la muestra original (21647 eventos) se calcula para la duración el primer cuartil, la mediana y el tercer cuartil. Para cada uno de los 4 grupos creados en base a estos umbrales (Tabla 1), se calcula el tercer cuartil para el número de puntos de las trazas de caudal. Es entonces cuando se realiza la primera criba de eventos, desechándose para cada grupo según duración aquellos con un número de puntos por debajo del tercer cuartil. Seguidamente, se calcula para los eventos restantes de cada grupo el tercer cuartil del caudal máximo. Finalmente, sólo se tienen en consideración aquellos eventos con un caudal máximo que superan el tercer cuartil calculado para cada grupo según duración. En la Tabla 1 se pueden consultar la cantidad de eventos de cada estudio que cumplen las condiciones descritas. De estos se seleccionan aleatoriamente 26 por estudio. La distribución forzada en función del grupo según duración obedece al hecho de que el 75% de los eventos de la muestra original (duraciones menores a 4.7 min) suponen sólo el 19.1% del volumen total (Tabla 1), por lo que se les ha dado menor peso en el tamaño de la sub-muestra final analizada.

Tabla 1 | Resumen de las características de los eventos empleados como datos de entrada del proceso de validación. Tamaño y distribución de la sub-muestra final.

Grupo	Duración (min)	% volumen total muestra original	Número de puntos	Máximo caudal (L/h)	Número de eventos		Número de eventos de la muestra analizada	
					E1	E2	E1	E2
gr-1	<0.5	1.2%	>6	>603.8	149	46	2	2
gr-2	>=0.5 & <1.7	4.8%	>10	>729.0	156	107	3	3
gr-3	>=1.7 & <4.7	13.1%	>18	>782.6	190	141	6	6
gr-4	>4.7	80.9%	>52	>1018.0	232	96	15	15

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El filtro desarrollado ha sido verificado a través del análisis de 52 eventos, cuya selección se ha descrito en la sección anterior. Para cada uno de ellos se ha podido alcanzar una adaptación adecuada a la traza en bruto mediante una determinada combinación de los 10 parámetros del filtro, con valores comprendidos en sus respectivos rangos. Esto es una muestra de la flexibilidad del algoritmo presentado. Por otro lado, se han tenido en consideración 4 indicadores de desempeño para evaluar los resultados obtenidos. El primero de ellos es el error asociado al volumen total del evento, expresado como un porcentaje del volumen contenido por la traza en bruto. El segundo indicador es el índice de King-Gupta efficiency (Gupta et al., 2009), conocido como KGE, que evalúa la habilidad del filtro para respetar las tendencias marcadas por la traza en bruto. Este índice adimensional puede variar entre $-\infty$ y 1, siendo este último el mejor valor. Se ha empleado el paquete de R *HydroGOF* para calcular dicho índice. Los dos últimos indicadores tenidos en cuenta miden el ahorro de memoria de almacenamiento: porcentaje de puntos suprimidos de la traza en bruto y reducción de los requerimientos de memoria, expresada en porcentaje respecto a la situación original y en bytes.

La Tabla 2 resume los valores medios alcanzados para cada indicador de desempeño por grupo según duración. Se puede observar que el volumen contenido por el output es prácticamente el mismo que el contenido por la traza en bruto independientemente del grupo, dado que el porcentaje de error está próximo a cero. Con respecto a la bondad del ajuste, el valor medio de KGE está siempre por encima de 0.8, excepto para el grupo 1, cuyo valor es 0.77. La elevada precisión alcanzada por el filtro indica que se consigue simplificar la traza en bruto respetando las tendencias generales que marca. No obstante, el objetivo no es reproducir con exactitud los datos de entrada, por tanto, no son deseables valores de KGE muy próximos a 1. En relación a los indicadores de ahorro de memoria, se observa un incremento con la duración del evento. Los resultados muestran que en media el 47.12% de los puntos de la traza en bruto son suprimidos para los eventos del grupo 1, aumentando este porcentaje hasta el 78.9% para los del grupo 4. Se observa un patrón similar en el indicador de reducción de requerimientos de memoria. En consecuencia, a través del uso de este filtro podría almacenarse de forma más eficiente las grandes cantidades de información que genera un estudio de usos finales del agua.

Tabla 2 | Valores medios de los indicadores de desempeño por grupo según duración.

	Gr1	Gr2	Gr3	Gr4
Error del volumen total (%)	0.03%	0.02%	0.07%	0.03%
KGE	0.77	0.83	0.90	0.93
Reducción del número de puntos (%)	47.12%	64.2%	63.0%	78.9%
Reducción de los requerimientos de memoria (bytes)	144.0	1340.0	2470.7	14992.3
Reducción de los requerimientos de memoria (%)	29.7%	58.2%	59.2%	76.9%

Con respecto a las mejoras que introduciría el resultado alcanzado en el proceso de desagregación, la eficacia a la hora de simplificar el gradiente puede observarse en el ejemplo de la **Figura 6**. Ésta muestra un evento que corresponde a una cisterna (mecanismo de válvula de llenado) solapada con un grifo. El gradiente calculado a partir de la traza en bruto resulta confuso (**Figura 6**): la magnitud de los cambios de gradiente debidos al ruido de la señal es similar a la de aquellos que corresponden al inicio o fin de un nuevo evento. Esto se debe a que los saltos de caudal que corresponden a ruido ocurren en periodos cortos de duración. Adicionalmente, la distorsión que tiene lugar en torno a los 175 segundos (**Figura 6**) rompe en dos una única sección con pendiente. En cambio, cuando la traza depurada es el dato de entrada (**Figura 6**) el inicio y el fin de un nuevo evento pueden ser identificados con mayor facilidad, ya que las distorsiones se han suprimido, mientras que las tendencias generales se respetan. Además, características específicas de un determinado dispositivo pueden ser reconocidas. Por ejemplo, el mecanismo de válvula de llenado genera una cola en la traza de caudal de la cisterna, cuyo gradiente tiene menor magnitud y se sostiene durante más tiempo que el correspondiente a un grifo (**Figura 6**).

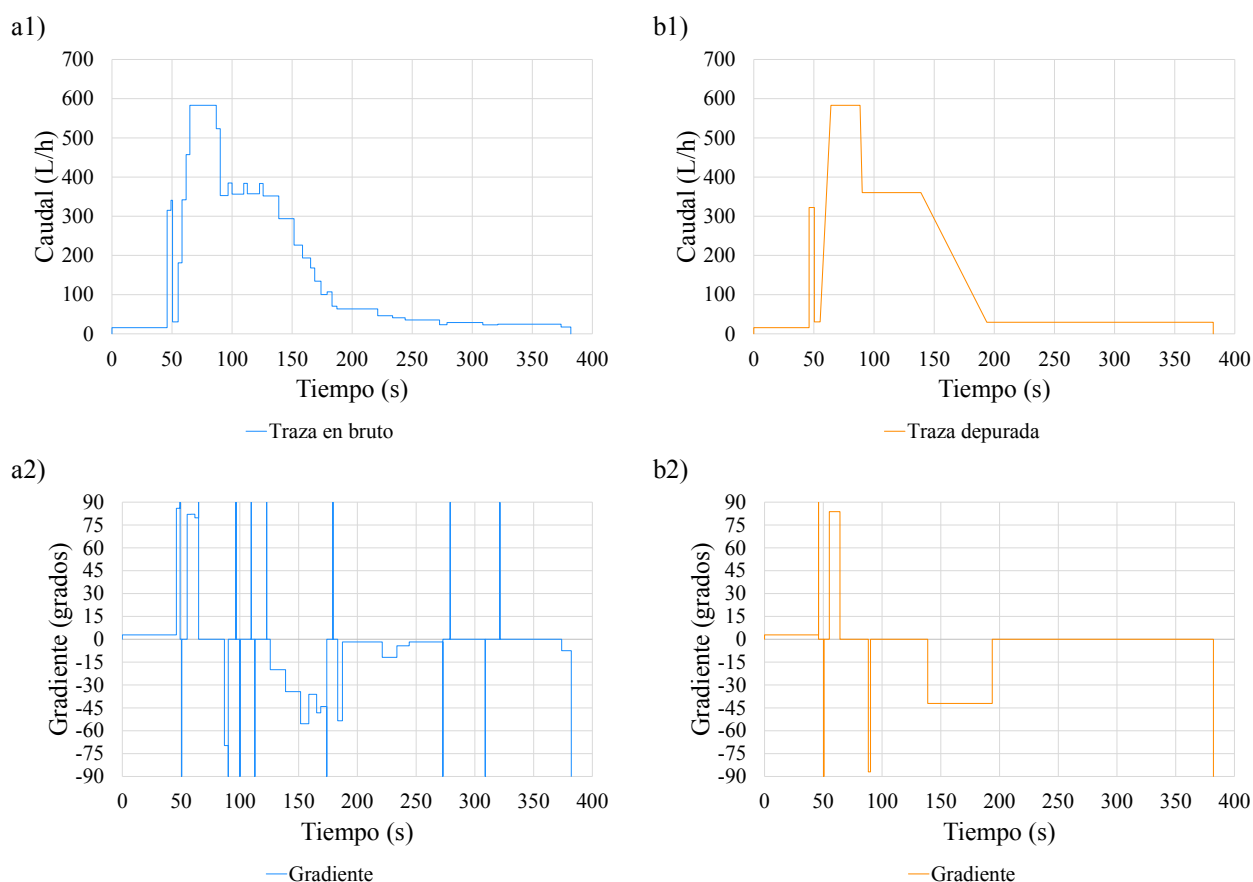


Figura 6 | a1) y a2) muestran, respectivamente, la traza de caudal y la magnitud del gradiente expresada en grados, antes del filtrado. b1) y b2) son análogas a las dos anteriores, pero parten de la traza de caudal filtrada.

La **Figura 7** incluye 8 eventos de la sub-muestra analizada, uno por estudio y grupo según duración, en los que se ha alcanzado peor valor del índice KGE o se ha detectado algún error. En la mayor parte de los casos las diferencias entre la traza en bruto y la obtenida como resultado son admisibles, en tanto que se refieren a distorsiones que es conveniente suavizar. Si bien, en ocasiones el algoritmo de filtro malinterpreta como un inicio de evento los saltos de caudal provocados por los cambios de presión en la instalación interna de una vivienda alimentada mediante bombeo directo (**Figura 7**). Este error proviene del bloque de código encargado de la depuración del ruido, ya que un salto de caudal no se suprime si el parámetro $p3$ se supera o si viene seguido por otro salto de caudal con el mismo signo. Es una casuística no bien contemplada en la estructura del filtro, por lo que tendrá que corregirse en próximas versiones o tenerse en cuenta en la fase de desagregación.

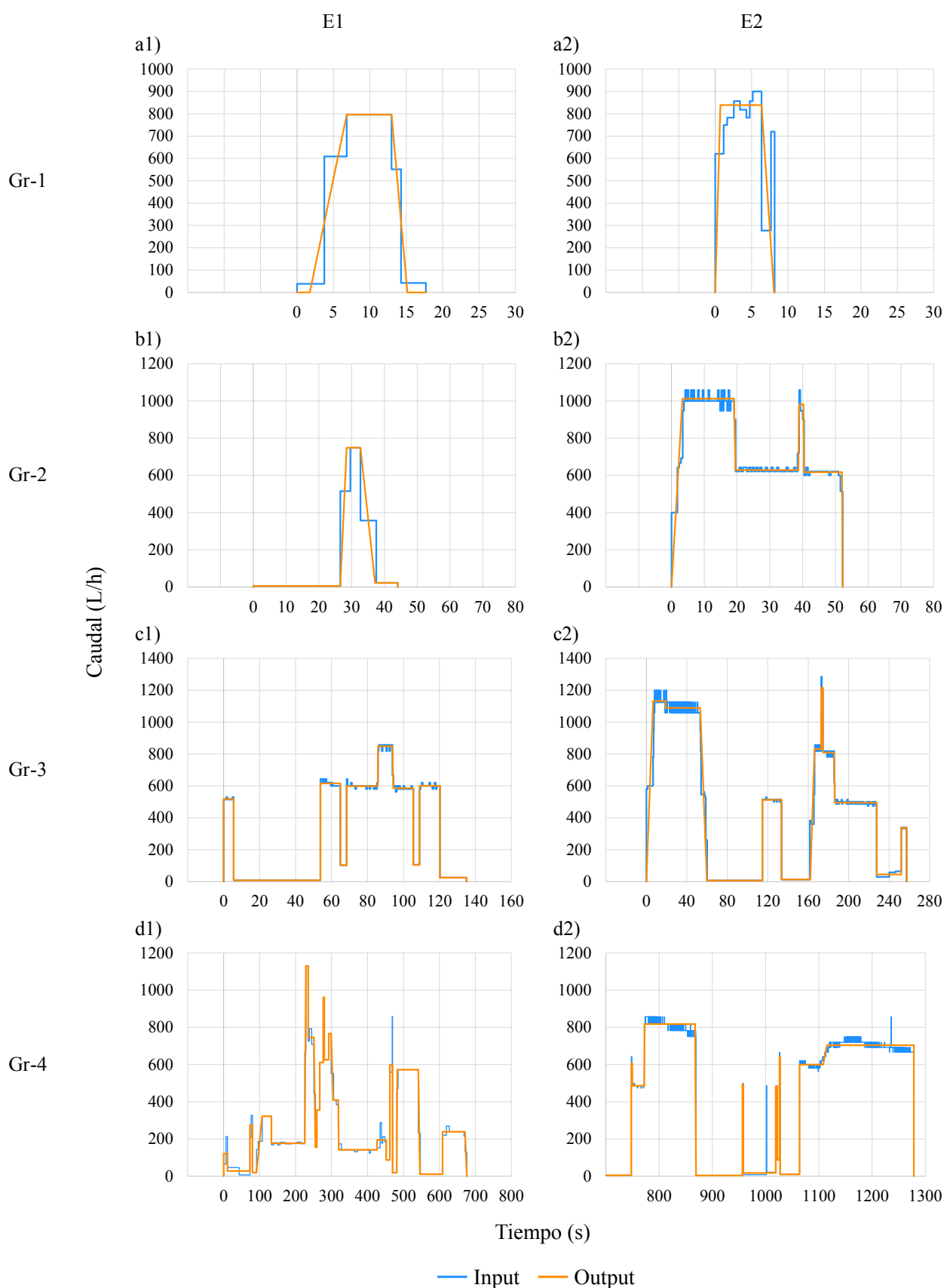


Figura 7 | Eventos analizados que han alcanzado peor valor del índice KGE o en los que se ha detectado algún error.

CONCLUSIONES

El análisis de los usos finales del agua es una poderosa herramienta que da soporte a la modelación y gestión de la demanda urbana de agua. No obstante, este tipo de estudios requiere una gran inversión en tiempo y capital humano. Esta es la razón por la cual se hace necesario el desarrollo de herramientas para la desagregación automática de las trazas de caudal. Para simplificar esta operación se ha creado un nuevo algoritmo de filtrado. Éste se ha testado a través del análisis de 52 eventos, seleccionados en función de 3 indicadores de complejidad. Los resultados muestran que en media el 78.9% de los puntos de la traza en bruto son suprimidos para los eventos más complejos, con el ahorro en memoria de almacenamiento que ello supone. Si bien, las tendencias marcadas por las trazas en bruto se respetan, tal y como queda demostrado al haberse alcanzado un valor medio del índice KGE en torno a 0.8. Además, el gradiente a lo largo de la traza de caudal se ve notablemente depurado. En consecuencia, el inicio y final de los eventos individuales solapados puede ser identificado con mayor facilidad, así como los cambios de gradiente.

El presente algoritmo de filtrado abre la posibilidad de mejorar la desagregación de los eventos solapados. Por tanto, se potencia el desarrollo de nuevas estrategias basadas en la traza de caudal depurada, mientras que las ya existentes pueden sacar provecho. Por otro lado, el resultado obtenido permite reconocer claramente características específicas de algunos dispositivos de consumo de agua. Así pues, pueden ser tenidas en cuenta como dato de entrada en los procesos de categorización de eventos en usos finales del agua, reduciendo los errores de clasificación. Para finalizar, en tanto que el objetivo es diseñar soluciones independientes de la intervención humana, se investigará una metodología para la calibración automática del filtro.

REFERENCIAS

- Arregui, F. 2015. New software tool for water End-Uses studies. *Presentation of 8th IWA International Conference on Water Efficiency and Performance Assessment of Water Services*, Cincinnati, USA.
- 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 & Software* 72, 198-214.
- DeOreo, W.B., Heaney, J.P., Mayer, P.W. 1996. Flow trace analysis to assess water use. *American Water Works Association* 88, 79-90.
- Fielding, K.S., Spinks, A., Russell, S., McCrea, R., Stewart, R.A., Gardner, J. 2013. An experimental test of voluntary strategies to promote urban water demand management. *Journal of Environmental Management* 114, 343-351.
- Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K., Martinez, G.F. 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology* 377, 80-91.
- Kowalski, M., Marshallsay, D. 2003. A System for Improved Assessment of Domestic Water Use Components. *II International Conference Efficient Use and Management of Urban Water Supply*, International Water Association, Tenerife, Spain.
- Larson, E., Froehlich, J., Campbell, T., Haggerty, C., Atlas, L., Fogarty, J., Patel, S.N. 2012. Disaggregated water sensing from a single, pressure-based sensor: An extended analysis of HydroSense using staged experiments. *Pervasive and Mobile Computing* 8, 82-102.
- Nguyen, K.A., Zhang, H., Stewart, R.A. 2013a. Development of an intelligent model to categorise residential water end use events. *Journal of Hydro-environment Research* 7, 182-201.
- Nguyen, K.A., Stewart, R.A., Zhang, H. 2013b. An intelligent pattern recognition model to automate the categorisation of residential water end-use events. *Environmental Modelling & Software* 47, 108-127.
- R Core Team 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

UNEP (United Nations Environment Programme). 2011. Water: Investing in Natural Capital. UNEP, Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, Nairobi.