

Caracterización de micro-consumos domésticos de agua potable de acuerdo con la percepción de los participantes en una iniciativa de ciencia ciudadana: la experiencia del #50WaterChallenge

Residential micro-consumption characterization based on the user perspective in a citizen science initiative: the #50WaterChallenge experience

Sarai Díaz^{1*}, Javier González² y Álvaro Galán³

^aDepartamento de Ingeniería Civil y de la Edificación, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla-La Mancha. Edificio Politécnico Av. Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real, España.

E-mail: ^{a1} Sarai.Diaz@uclm.es, ^{a2} Javier.Gonzalez@uclm.es, ^{a3} Alvaro.Galan@uclm.es

*Autor para correspondencia

Recibido: 23/01/2021

Aceptado: 14/04/2021

Publicado: 31/07/2021

Citar como: Díaz, S., González, J., Galán, A. 2021. Residential micro-consumption characterization based on the user perspective in a citizen science initiative: the #50WaterChallenge experience. *Ingeniería del agua*, 25(3), 169-185. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.14998>

RESUMEN

Una buena caracterización de las demandas es esencial para modelizar correctamente el flujo y la calidad del agua en sistemas de abastecimiento, especialmente en las zonas terminales de la red. En la actualidad existen dos tipos de modelos estocásticos de demanda, que requieren una adecuada monitorización de viviendas o la realización de encuestas técnicas especializadas. El objetivo de este trabajo es recopilar información orientativa para la puesta en marcha de modelos basados en usos finales mediante la percepción de consumo de los participantes en una experiencia de ciencia ciudadana. Se trata de una sencilla encuesta *on-line* con motivo del reto #50WaterChallenge en redes sociales, que recoge información sobre los micro-consumos de agua en las viviendas de forma individual. Los datos recabados son filtrados en dos etapas y los resultados obtenidos se ajustan en general bien a las referencias existentes en la literatura científica. Además, parecen captar las particularidades asociadas a la situación de confinamiento debida a la coyuntura por COVID-19 en España, probando que este tipo de iniciativas pueden ser herramientas ágiles y útiles para caracterizar (o al menos aproximar) el consumo de agua urbana.

Palabras clave | demanda de agua, micro-consumos, usos finales, abastecimiento, COVID-19.

ABSTRACT

A good characterization of water demands is essential to correctly simulate the water flow and quality in supply systems, especially in the terminal pipelines. At present, there are two types of stochastic demand models, which need as input either water flow series at monitored households or specialized technical surveys. The aim of this work is to gather guiding information that can be used to set up end-use based models thanks to the perception of self-consumption of the users involved in a citizen science experience. It consists of a simple on-line survey in the context of the #50WaterChallenge in social networks, which collects individual micro-consumption information at households. Data is filtered in two stages and results present a good correspondence with available references in the scientific literature. Moreover, they seem to capture the particularities of confinement due to the COVID-19 outbreak in Spain. Therefore, they prove that such initiatives may be an agile and useful tool to characterize (or at least approximate) urban water demand.

Key words | water demand, micro-consumption, end-uses, water supply, COVID-19.

INTRODUCCIÓN

Las redes de abastecimiento son infraestructuras que posibilitan la llegada de agua potable hasta el lugar de consumo. Más aún, el consumo de agua es el motor que pone en marcha la circulación del agua a través de las conducciones, condicionando el funcionamiento hidráulico del sistema (régimen de presiones y velocidades, calidad del agua, etc.). Sin embargo, la naturaleza estocástica de las demandas hace que sea difícil caracterizarlas, constituyéndose los valores de consumo como una de las principales fuentes de incertidumbre para los modelos hidráulicos (Magini *et al.*, 2008). Los modelos hidráulicos tradicionales trabajan con valores de demanda promedio, tanto en el espacio como en el tiempo. En lo que respecta al espacio, es habitual que cada nodo del modelo represente a varios consumidores, e.g. viviendas individuales o edificios. Desde un punto de vista temporal, se suele trabajar con modelos cuasi-permanentes (i.e. simulaciones de período extendido) que asignan coeficientes horarios a la demanda media estimada para cada nodo. Esta forma de asignar demanda puede ser válida para redes de transporte que conducen el agua hasta cada entrada de sector o DMA (del inglés *District Metered Area*), pero puede ser insuficiente para modelizar redes de distribución que llevan el agua hasta las acometidas, entre las que existe baja correlación (Filion *et al.*, 2008). Una incorrecta modelización en las zonas terminales de la red puede hacer que el comportamiento real del sistema difiera del simulado, lo cual puede suponer problemas en la disponibilidad y calidad del agua suministrada (Blokker *et al.*, 2008). Por este motivo, desde mediados de los años 1990s se vienen desarrollando modelos estocásticos de demanda que permitan reproducir la variabilidad de las demandas con una alta resolución espacial y temporal.

De acuerdo con la revisión de la literatura llevada a cabo por Creaco *et al.* (2017), los modelos estocásticos de demanda se pueden clasificar en: (1) modelos que simulan el consumo de agua doméstico a nivel de vivienda, sin diferenciar la contribución de cada habitante o uso de agua en el hogar, y (2) modelos que reproducen el accionamiento de los micro-componentes (e.g. grifos, duchas, lavadoras) por parte de cada habitante, siendo posible calcular la demanda de la vivienda agregando todos los micro-consumos. El primer tipo de modelos, presentado por Buchberger and Wu (1995), utiliza Procesos Rectangulares de Poisson (PRP) para simular la intensidad, duración y frecuencia de las demandas en una vivienda. Los parámetros y las funciones de probabilidad que constituyen el pulso se ajustan a partir de medidas procedentes de viviendas monitorizadas (Buchberger and Wells, 1996). El denominador común de todos los modelos de este primer tipo es que requieren un gran número de medidas, no siempre disponibles. Esto es cada vez más asequible gracias a la instalación de contadores inteligentes de alta resolución (Pastor-Jabaloyes *et al.*, 2018a), pero la extrapolación de los parámetros a otras zonas sigue siendo complicada (Creaco *et al.*, 2017). El segundo grupo de modelos sigue esta misma filosofía de los pulsos rectangulares, aunque en vez de trabajar a nivel de vivienda, calcula los micro-consumos de cada uso final a partir de información estadística procedente de encuestas, que luego agrega para calcular la demanda por vivienda. Hasta la fecha solamente existe un modelo en esta categoría, el llamado modelo SIMDEUM (Blokker *et al.*, 2010), que utiliza simulaciones de Montecarlo para calcular patrones realistas. Recientemente se han planteado aproximaciones analíticas a este modelo para evitar la dependencia de las propiedades estadísticas de la demanda (i.e. media y varianza) del número de simulaciones de Montecarlo (Díaz and González, 2020; 2021). La aplicación de cualquier método perteneciente a este segundo grupo requeriría en principio una menor inversión en comparación con la primera familia de modelos, ya que no requiere instrumentación. No obstante, exige conocer un gran número de parámetros que caractericen la intensidad, duración y frecuencia de cada uso final. Los parámetros disponibles hasta la fecha corresponden principalmente a los Países Bajos, donde se concibió y comenzó a aplicar SIMDEUM.

La información sociodemográfica necesaria para caracterizar la población que consume agua en una determinada zona puede obtenerse del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2020) para el caso de España. El INE (2018) también publica periódicamente una encuesta sobre el suministro y saneamiento de agua (el último dato de consumo medio de los hogares españoles es de 133 litros por persona y día en 2018), sin llegar a abordar los micro-consumos. En lo relativo a intensidades o caudales, se pueden tomar como referencia las condiciones mínimas de suministro establecidas en el Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Fomento, 2019). Pero en general, son pocos los trabajos que estudian el uso de agua a nivel de vivienda. Cubillo *et al.* (2008) realizaron un estudio de los microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid. Para ello, se llevaron a cabo 4625 encuestas y se tomaron datos en cientos de viviendas principales entre 2001-2003 y 2006, que permitieron obtener valores medios e histogramas de frecuencia para algunos parámetros de intensidad, duración y frecuencia de algunos microcomponentes, aunque sin distinguir usos finales dentro de cada uno de ellos. Por ejemplo, se habla de “grifos” sin matizar si se trata de un lavabo o fregadero, ni el uso final que se va a realizar con el agua (por ejemplo, lavar los dientes, cocinar, etc.), tal y como

discretiza SIMDEUM. Por su parte, Domene *et al.* (2009) realizaron una encuesta a 634 hogares de la Región Metropolitana de Barcelona. Este estudio proporciona una distribución de usos del agua según diferentes tipologías edificatorias, pero no parámetros concretos para caracterizar los micro-consumos. Más recientemente, también se han llevado a cabo trabajos orientados a distinguir los usos finales a partir de los pulsos emitidos por equipos de medida (Peñalver *et al.*, 2017; Pastor-Jabaloyes *et al.*, 2018b). Este panorama pone de manifiesto que sigue siendo igualmente costoso conseguir parámetros realistas para un modelo como SIMDEUM.

Las encuestas necesarias para caracterizar la intensidad, duración y frecuencia de todos los usos finales de una vivienda pueden resultar demasiado técnicas y/o específicas, lo cual puede mermar la participación a gran escala. Concebir esta recogida de información como una iniciativa de “*ciencia ciudadana*” podría ayudar. La ciencia ciudadana se entiende como un modelo de investigación que involucra al público general en proyectos científicos (Irwin, 1995), con frecuencia para recoger datos y a veces incluso para interpretar colectivamente esos datos (ver referencias en Senabre *et al.*, 2018). Ha experimentado un enorme crecimiento en las últimas décadas debido a la facilidad de acceso a Internet, especialmente desde dispositivos portátiles. De acuerdo con Follet and Strezov (2015), las iniciativas de ciencia ciudadana se pueden clasificar de acuerdo con el grado de implicación de los voluntarios: (1) proyectos contributivos, en los que el público participa en la recolección de datos y a veces en el análisis y difusión de resultados, (2) proyectos colaborativos, en los que los ciudadanos analizan datos y puntualmente ayudan a diseñar el estudio, interpretar datos, sacar conclusiones o difundir resultados, y (3) proyectos co-creados, donde el público participa en todas las etapas del proyecto. Este tipo de iniciativas está suponiendo un cambio importante en el campo de las ciencias naturales y experimentales, ya que permite en muchas ocasiones un salto de escala (Dickinson *et al.*, 2010). Aunque hay casos de estudio que prueban la fiabilidad de este tipo de estrategias en comparación con modelos de investigación tradicionales (e.g. Darwall and Dulvy, 1996), la desconfianza en la fiabilidad de los datos recabados por voluntarios amateurs por parte de algunos investigadores parece estar frenando su uso masivo (Krabbenhoft and Kashian, 2020). No obstante, las iniciativas de ciencia ciudadana se presentan como una oportunidad cuando faltan datos y/o hay recursos limitados (e.g. Canfield *et al.*, 2002).

El objetivo de este artículo es caracterizar los micro-consumos domésticos de agua potable de acuerdo con la percepción de los participantes en una iniciativa contributiva de ciencia ciudadana. La recogida de información se plantea como una encuesta *on-line* que permite, mediante 21 preguntas simples acerca del uso del agua en la vivienda, calcular el consumo doméstico individual de agua potable. La encuesta se concibe como una calculadora del consumo doméstico de agua, que devuelve al usuario su consumo total, guardando a su vez las respuestas en una base de datos. Esta herramienta cumple por tanto el doble papel de concienciar a la población sobre el consumo de agua potable mediante una divulgación activa y recabar datos sobre los hábitos de la población en España. Según el conocimiento de los autores, es la primera iniciativa de este tipo aplicada a la caracterización del consumo doméstico de agua potable, por lo que los resultados obtenidos y lecciones aprendidas pueden ser interesantes para poner en marcha iniciativas futuras similares en el contexto de la Ingeniería del Agua. En este trabajo se valora la utilidad de las más de 4700 encuestas recabadas en esta experiencia piloto para caracterizar los micro-consumos domésticos de agua potable en una situación de confinamiento de la población muy particular debido a la pandemia por COVID-19.

La organización del trabajo es la siguiente. En primer lugar, se presentan los Materiales y Métodos, en los que se explica el contexto y planteamiento de la encuesta, así como el procedimiento adoptado para procesar los datos. Después, se presentan los Resultados de las encuestas validadas, discutiéndose su utilidad. Finalmente, se discuten las principales lecciones aprendidas y se extraen las conclusiones más relevantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La encuesta empleada para caracterizar los micro-consumos domésticos de agua potable se enmarca en el proyecto divulgativo “Cambio Climático, Aquí y Ahora”, organizado por la E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real (Universidad de Castilla-La Mancha) con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología – Ministerio de Ciencia e Innovación. La iniciativa, que se pone en marcha durante el curso académico 2019/2020, pretende acercar la ciencia y la tecnología a la sociedad, planteando preguntas y desarrollando actividades que permitan una mejor comprensión, monitorización y adaptación de la sociedad a los efectos del cambio climático. Se articula en torno a la página web <https://www.cambioclimaticoaquiyahora.uclm.es/> y los

perfiles en redes sociales del proyecto (@CCAquiyAhora en Facebook, Twitter e Instagram). Desde estas plataformas se publican vídeos divulgativos y se da seguimiento a varias actividades colaborativas que pretenden promover la participación ciudadana:

- 1) Catálogo de evidencias de cambio climático, que recopila en un mapa colaborativo las evidencias enviadas por los usuarios de redes sociales, tal y como ellos las perciben en su entorno.
- 2) Experiencias “de abuelos a nietos”, que visibilizan el cambio intergeneracional que se ha producido en el medio ambiente en las últimas décadas, el cual ha tenido consecuencias, entre ellas el cambio climático.
- 3) Recogida de datos meteorológicos, que recopila en un mapa colaborativo las mediciones enviadas por estaciones meteorológicas de bajo coste construidas por alumnos de instituto (3º-4º ESO y Bachillerato) y aficionados a la meteorología en general.
- 4) #50lWaterChallenge, o reto de vivir con 50 litros de agua por persona y día (cantidad suficiente para satisfacer necesidades básicas de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud) durante una semana, compartiendo la experiencia y medidas de ahorro adoptadas en redes sociales.
- 5) Exposición virtual y entrega de premios a participantes destacados.

Concretamente, la encuesta se plantea en el contexto del #50lWaterChallenge, que se desarrolla de forma *on-line* del 27 de abril al 29 de mayo de 2020. Para promover la curiosidad y fomentar la participación de la población en el reto, se divide la actividad en tres acciones más fácilmente abordables:

- a. Cálculo del consumo doméstico de agua. Con esta finalidad se facilitan en la página web del proyecto cifras generales sobre el consumo de agua potable en España, y se habilita un enlace para acceder a la encuesta en la que se centra este trabajo. Este cálculo permite a todos los interesados en superar el #50lWaterChallenge conocer su punto de partida aproximado.
- b. Puesta en práctica de #CCconsejos, que se publican de forma diaria para motivar la participación ciudadana e incentivar el ahorro de agua. Esta estrategia dinamiza el reto y fomenta la puesta en común de medidas de ahorro de agua por parte de los usuarios de las redes sociales.
- c. Superación de mini-retos semanales, planteados en colaboración con la Red Young Water Professionals (YWP) Spanish chapter. Estos mini-retos son propuestas muy concretas que pretenden llamar la atención sobre pequeños gestos que, de ser incorporados como hábito diario, permitirían reducir el consumo de agua. Se plantean 4 mini-retos, asociados a 4 etiquetas o *hashtags* en redes sociales: #RetodelosEspaguetis, #CantaenlaDucha, #YoReutilizoAgua, #DetectivesdelAgua.

Para acceder a más información sobre el #50lWaterChallenge se puede consultar la página web de la actividad (<https://www.cambioclimaticoquiyahora.uclm.es/challenge>) o buscar información sobre la etiqueta en Facebook, Twitter o Instagram. La actividad ha logrado una alta participación gracias a la labor de difusión llevada a cabo (ver Agradecimientos).

Caracterización de micro-consumos domésticos

Antes de plantear la encuesta sobre micro-consumos domésticos, es necesario conocer los parámetros de intensidad, duración y frecuencia habitualmente utilizados como entrada para modelos tipo SIMDEUM. La Tabla 1 resume el valor medio de los parámetros para los usos finales identificados por Blokker *et al.* (2010) en Países Bajos, así como los valores que adoptarían estos mismos usos conforme a las referencias disponibles en España (Cubillo *et al.*, 2008; Ministerio de Fomento, 2019). De esta tabla es importante destacar que Blokker *et al.* (2010) distinguen más usos finales que las referencias españolas. Tal y como se anticipaba en la Introducción, en los Países Bajos se llega a hacer una diferenciación del uso final para cada micro-componente, mientras que en España se suele trabajar a nivel de micro-componente. Nótese que la tabla solamente muestra algunos de los tipos de micro-componentes identificados en Blokker *et al.* (2010). Por ejemplo, solamente se muestran valores para duchas sin dispositivos especiales de ahorro de agua (este tipo de dispositivos permite reducir la intensidad) y la duración de la descarga del inodoro se ha ajustado al volumen promedio de cisterna de acuerdo con los porcentajes de penetración de los diferentes tipos de WC en Países Bajos (5.7 litros).

Tabla 1 | Valores medios para los parámetros de intensidad, duración y frecuencia, típicamente asumidos en un modelo tipo SIMDEUM.

Micro-componente	Uso final	Intensidad (L/s)			Duración (s)		Frecuencia (veces/persona/día)	
		Blokker <i>et al.</i> (2010)	Cubillo <i>et al.</i> (2008)	Ministerio de Fomento (2019)	Blokker <i>et al.</i> (2010)	Cubillo <i>et al.</i> (2008)	Blokker <i>et al.</i> (2010)	Cubillo <i>et al.</i> (2008)
Ducha	-	0.142	0.142	0.200	510	488	0.70	0.50
Bañera	-	0.200	-	0.250	600	-	0.04	-
Inodoro (WC)	-	0.042	0.069	0.100	135	103	6.00	3.29
Lavabo (grifo baño)	Lavar y/o afeitarse	0.042	0.078	0.100	40	-	1.35	-
	Cepillar dientes	0.042			15		2.75	
Fregadero (grifo cocina)	Beber	0.083			16		2.05	
	Fregar	0.125	0.078	0.200	48	-	1.37	-
	Lavar manos	0.083			15		1.37	
	Otros usos	0.083			37		0.68	
Lavadora	-	0.167	0.126	0.200	300*	555*	0.30	0.20
Lavavajillas	-	0.167	0.063	0.150	84*	314*	0.30	0.13
Jardín (grifo exterior)	Regar	0.100	0.273	0.200	300	-	0.33	-
	Otros usos	0.100			15		0.11	

*La duración se refiere al tiempo en el que se consume agua en el programa de lavado. Es habitual que las lavadoras y lavavajillas descarguen este volumen en ciclos diferentes, pudiendo llegar la duración total del programa de lavado a las 2 horas (o incluso más) según el modelo de electrodoméstico.

En lo que respecta a la intensidad, la Tabla 1 recoge los valores medios asumidos por Blokker *et al.* (2010), que los autores calculan como la mitad de la intensidad máxima contemplada en la regulación holandesa. La tabla solamente recoge valores medios, pero la componente estocástica se introduce en SIMDEUM mediante una distribución uniforme entre 0 y la intensidad máxima para los grifos y un valor fijo para el resto de los usos. Los valores medios de intensidad en la Comunidad de Madrid se calculan a partir de los histogramas de frecuencia de caudales publicados por Cubillo *et al.* (2008), que no contemplan la existencia de bañeras, un elemento poco frecuente y asociado a un elevado consumo de agua. Los valores medios de acuerdo con el Código Técnico de la Edificación se han asumido iguales a las condiciones de suministro (caudal instantáneo mínimo de agua fría) facilitadas por Ministerio de Fomento (2019). Los valores de intensidad son similares en orden de magnitud en las tres referencias, si bien es cierto que el Código Técnico de la Edificación se refiere a condiciones de instalación y no al uso real de los aparatos en una vivienda. Las diferencias pueden deberse a una diferencia en los modelos más habituales en Países Bajos y España. De acuerdo con los valores de Cubillo *et al.* (2008), también hay diferencias entre los dos países en la intensidad de los grifos de la cocina y del baño, aunque esta referencia habla de grifos en general, sin distinguir su uso concreto. De la misma forma, hay diferencias en la intensidad del grifo exterior.

En lo que respecta a la duración y la frecuencia, las duchas e inodoros parecen presentar características similares y los grifos no son realmente comparables por falta de información sobre el uso final en España. Por su parte, las lavadoras y lavavajillas están asociadas a mayores duraciones en la Comunidad de Madrid. Cabe destacar que es habitual que algunos usos finales se asocien a la vivienda en su conjunto en vez de a cada individuo. En Blokker *et al.* (2010) ocurre con el fregadero, que aquí se ha dividido por la ocupación media de los hogares en Países Bajos para trabajar por persona. Este tipo de matices son en realidad dependientes de la composición del hogar. Además, los parámetros pueden verse afectados por el sexo, la edad o el poder adquisitivo de los habitantes, así como por el tipo o la antigüedad de la vivienda. Cabe destacar que la Tabla 1 solamente recoge valores medios, pero SIMDEUM reproduce la naturaleza estocástica de las demandas utilizando distribuciones estadísticas que simulan la variabilidad de cada accionamiento. En Blokker *et al.* (2010) se asumen funciones de distribución lognormal para la duración de grifos y duchas, y duraciones fijas para el resto de los usos. Por su parte, es habitual simular la ocurrencia (i.e. frecuencia) de los usos finales con distribuciones de Poisson (Buchberger and Wu, 1995).

Planteamiento de la encuesta

Es importante resaltar que esta encuesta sobre micro-consumos domésticos se enmarca en el contexto de un proyecto divulgativo, por lo que es fundamental que sea una encuesta fácil de entender, apta para todos los públicos y relativamente rápida. Por este motivo, se establecen una serie de premisas:

- a. Las preguntas se plantean de forma intuitiva, para que los ciudadanos puedan asociarlas con hábitos de su vida cotidiana y sientan asequibles las respuestas. Esto hace que, por ejemplo, para el lavabo se distingan como usos finales el lavado de manos, cara, dientes y otros usos, como puede ser el afeitado, la limpieza o cualquier otra actividad vinculada al grifo del baño. De la misma forma, para el fregadero se distingue el uso de agua para beber, cocinar, fregar platos/menaje y otros usos (como puede ser la limpieza del hogar, el riego de plantas, etc.). Las unidades en las que se plantean las preguntas (e.g. minutos, segundos, veces/día) se ajustan en cada pregunta para facilitar la respuesta.
- b. Las preguntas se centran en caracterizar la frecuencia y la duración del uso. La intensidad es difícilmente cuantificable por un ciudadano no especializado, por lo que alargaría la encuesta (sería necesario preguntar sobre el modelo de los grifos, el tipo de cisterna, el modelo de los electrodomésticos, etc.) y la haría menos asequible para el público general. Tal y como muestra la Tabla 1, las referencias de la literatura son relativamente explícitas en términos de intensidades, incluso para el caso de España.
- c. Debido a la alta variabilidad en los modelos de electrodomésticos, y a la inviabilidad de preguntar por el consumo del programa de lavado habitual en cada vivienda, se decide asignar un volumen fijo a la puesta en marcha de la lavadora (60 litros) y el lavavajillas (30 litros), igual que en Domene *et al.* (2009). Puesto que lo más habitual en España es poner en marcha estos electrodomésticos para todos los componentes del hogar, las preguntas sobre la frecuencia de uso de la lavadora y el lavavajillas se colocan las últimas y se realizan a nivel de vivienda. Para poder calcular el consumo individual, se hace una pregunta previa sobre la ocupación del hogar. El uso del fregadero también podría haberse planteado a nivel de vivienda, pero hacer la pregunta de forma individual facilita la respuesta por parte de cualquier ciudadano, independientemente de su grado de participación en las tareas del hogar.
- d. Considerar correctamente el consumo de agua en usos exteriores requiere disponer de información sobre la superficie exterior, el tipo de jardín e incluso el sistema de riego. Para evitar respuestas poco fiables, que no se ajusten a la realidad y puedan distorsionar los resultados del resto de la encuesta, no se ha planteado ninguna pregunta sobre los usos exteriores. La disponibilidad de un patio o jardín no será por tanto fuente de error en el cálculo, y únicamente puede estar condicionando implícitamente la respuesta de los ciudadanos a alguna otra pregunta.
- e. En Cubillo *et al.* (2008) se considera la existencia de fugas como un uso adicional. Puesto que la pérdida de agua en la instalación es un proceso silencioso, difícilmente detectable por los habitantes, no se ha incluido en la encuesta.
- f. Se asume que las encuestas son representativas de España, aunque es posible que hayan participado personas de otras nacionalidades (hispanohablantes).

Estas premisas dan como resultado una encuesta de 21 preguntas a la que se puede acceder en: <https://www.cambioclimaticoquiyahora.uclm.es/challenge-consumo/>. La Tabla 2 recoge todas las preguntas planteadas, así como su condición de obligatoriedad, los tipos y opciones de respuesta para cada una de ellas y la variable que cuantifican (en general, f para frecuencias, d para duraciones y v para volúmenes). Es importante destacar que en la mayoría de las preguntas se ha optado por respuestas numéricas (solamente se consienten números enteros) de tipo libre, para evitar condicionar a las personas encuestadas. También se ha hecho énfasis en cada pregunta en el interés de recabar información sobre el tiempo durante el que se consume agua. De esta forma, no se pregunta (por ejemplo) el tiempo que los ciudadanos tardan en ducharse, sino el tiempo que tienen la ducha abierta. Además, es importante resaltar que en todo momento se pregunta por valores medios, si bien es cierto que el consumo de agua en una vivienda presenta una naturaleza claramente estocástica. Esta simplificación se adopta para facilitar la respuesta a la encuesta de personas sin conocimientos técnicos, si bien es cierto que supone una limitación, tal y como se comentará en el apartado de Discusión.

Tabla 2 | Encuesta sobre la percepción de micro-consumos domésticos de agua potable.

Pregunta	Obligatoria	Tipo de respuesta	Opciones de respuesta	Variable (unidades)
P1. Uno de los principales consumos de agua en una vivienda está asociado a la ducha, ¿cuántos días te sueles duchar a la semana?	Sí	Opción múltiple	Desde 1 día/semana hasta 7 días/semana	f_{ducha} (días/semana)
P2. En cada ducha, ¿durante cuánto tiempo sueles tener la ducha abierta?	Sí	Libre	-	d_{ducha} (minutos)
P3. Normalmente, ¿cuántas veces utilizas el inodoro (es decir, tiras de la cisterna) al día?	Sí	Libre	-	$f_{inodoro}$ (veces/día)
P4. Normalmente, ¿accionas la media descarga o la descarga completa? Si tu cisterna solamente tiene un botón o tirador, selecciona la opción de descarga completa	Sí	Opción múltiple	Media descarga (3L) / Descarga completa (6L)	$v_{inodoro}$ (litros)
P5. ¿Cuántas veces te lavas las manos al día aproximadamente?	Sí	Libre	-	f_{manos} (veces/día)
P6. Cuando te lavas las manos, ¿durante cuánto tiempo sueles dejar el grifo abierto?	Sí	Libre	-	d_{manos} (segundos)
P7. ¿Cuántas veces te lavas la cara al día normalmente?	Sí	Libre	-	f_{cara} (veces/día)
P8. Cuando te lavas la cara, ¿durante cuánto tiempo sueles dejar el grifo abierto?	Sí	Libre	-	d_{cara} (segundos)
P9. ¿Cuántas veces te lavas los dientes al día aproximadamente?	Sí	Libre	-	$f_{dientes}$ (veces/día)
P10. Cuando te lavas los dientes, ¿durante cuánto tiempo tienes el grifo abierto aproximadamente?	Sí	Libre	-	$d_{dientes}$ (segundos)
P11. ¿Cuántas veces al día utilizas el lavabo para usos distintos de los anteriormente descritos (lavar manos, lavar cara, lavar dientes)? Si no utilizas el lavabo para más cosas, no es necesario que respondas	No	Libre	-	$f_{otros baño}$ (veces/día)
P12. Aproximadamente, ¿durante cuánto tiempo dejas el grifo abierto para estas actividades? Si no utilizas el lavabo para más cosas, no es necesario que respondas	No	Libre	-	$d_{otros baño}$ (segundos)
P13. ¿Cuántos vasos de agua de grifo bebes al día?	Sí	Libre	-	n_{vasos} (vasos/día)
P14. Cocinar requiere utilizar agua. En tu rutina diaria, ¿cuántos litros de agua utilizas al día para cocinar? Si te ayuda, ten en cuenta que 1 litro equivale aproximadamente a 4 tazas o vasos llenos	Sí	Libre	-	$v_{cocinar}$ (litros/día)
P15. ¿Cuántas veces al día friegas los platos (o aclaras los platos antes de meterlos al lavavajillas)? Más adelante te preguntaremos sobre el uso que haces del lavavajillas	Sí	Libre	-	f_{platos} (veces/día)
P16. Cuando friegas o aclaras los platos, ¿durante cuánto tiempo tienes el grifo abierto aproximadamente?	Sí	Libre	-	d_{platos} (segundos)
P17. El agua es imprescindible para muchas otras actividades (limpiar la casa, regar alguna planta interior, etc.). ¿Cuántas veces al día utilizas agua del grifo para estas otras actividades?	No	Libre	-	$f_{otros cocina}$ (veces/día)
P18. Al coger agua para estas actividades, ¿durante cuánto tiempo tienes abierto el grifo aproximadamente?	No	Libre	-	$d_{otros cocina}$ (segundos)
P19. ¿Cuántas personas sois en casa?	Sí	Libre	-	n_{hab} (personas)
P20. ¿Cuántas veces a la semana se pone la lavadora en tu casa?	Sí	Libre	-	$f_{lavadora}$ (veces/semana)
P21. ¿Cuántas veces a la semana se pone el lavavajillas en tu casa?	No	Libre	-	$f_{lavavajillas}$ (veces/semana)

Una vez finalizada la encuesta, la página web devuelve una estimación del consumo doméstico total individual. Puesto que en este trabajo se trabaja con valores promedio orientativos y no se reproduce la naturaleza estocástica del consumo, se utilizará el término dotación (D_{tot}), que se calcula de acuerdo con la Ecuación (1):

$$D_{tot} (L/hab/día) = D_{ducha} + D_{inodoro} + D_{lavabo} + D_{cocina} + D_{lavadora} + D_{lavavajillas} + D_{otros} \quad (1)$$

Cada sumando se corresponde con distintos usos, que se calculan como:

- a. Ducha. La Ecuación (2) permite estimar la dotación asociada a la ducha:

$$D_{ducha} (L/hab/día) = f_{ducha} / 7 \cdot d_{ducha} \cdot 60 \cdot i_{ducha} \quad (2)$$

Donde f_{ducha} y d_{ducha} se obtienen como resultado de la encuesta (P1 y P2, respectivamente) y se asume $i_{ducha} = 0.142$ L/s. En general, se han tenido en cuenta las intensidades propuestas por Blokker *et al.* (2010), que distingue entre los usos finales de cada micro-componente. En este caso, se ha asumido la intensidad propia de una ducha sin dispositivo para el ahorro de agua (ver Tabla 1).

- b. Inodoro. La Ecuación (3) proporciona el consumo del inodoro:

$$D_{inodoro} (L/hab/día) = f_{inodoro} \cdot v_{inodoro} \quad (3)$$

En este caso, $f_{inodoro}$ y $v_{inodoro}$ se obtienen como resultado de la encuesta (P3 y P4). Tal y como indica la Tabla 2, se asume un volumen de inodoro de 6 litros para descarga completa y 3 litros para media descarga.

- c. Lavabo. La Ecuación (4) permite estimar la dotación asociada al lavado de manos, cara y dientes:

$$D_{lavabo} (L/hab/día) = f_{manos} \cdot d_{manos} \cdot i_{manos} + f_{cara} \cdot d_{cara} \cdot i_{cara} + f_{dientes} \cdot d_{dientes} \cdot i_{dientes} \quad (4)$$

Todos los parámetros que caracterizan la frecuencia ($f_{manos}, f_{cara}, f_{dientes}$) y la duración ($d_{manos}, d_{cara}, d_{dientes}$) se obtienen de la encuesta (P5, P7, P9 y P6, P8, P10). Se asume para todos los usos la intensidad propia del lavabo de acuerdo con Blokker *et al.* (2010), es decir $i_{manos} = i_{cara} = i_{dientes} = 0.042$ L/s. Debido a los distintos tipos de uso que pueden agruparse bajo la categoría “otros baño”, este consumo se reserva para D_{otros} .

- d. Cocina. La Ecuación (5) recoge el consumo correspondiente a beber agua del grifo y cocinar. Tanto el fregado de platos como la categoría “otros cocina” se ha reservado para D_{otros} :

$$D_{cocina} (L/hab/día) = n_{vasos} \cdot v_{vaso} + v_{cocinar} \quad (5)$$

La frecuencia con la que se bebe agua (n_{vasos}) y el volumen de agua para cocinar ($v_{cocinar}$) se obtienen directamente de la encuesta (P13 y P14). Se asume un volumen medio para los vasos $v_{vaso} = 0.25$ L.

- e. Lavadora. Puesto que poner la lavadora se considera una actividad en común para todos los habitantes de la vivienda, su dotación individual se calcula como:

$$D_{lavadora} (L/hab/día) = \frac{f_{lavadora}}{7 \cdot n_{hab}} \cdot v_{lavadora} \quad (6)$$

Donde la ocupación (n_{hab}) y la frecuencia de uso ($f_{lavadora}$) se obtienen de la encuesta (P19 y P20). Tal y como se anticipaba, se asume $v_{lavadora} = 60$ L (Domene *et al.*, 2009).

- f. Lavavajillas. Por analogía con la lavadora, su dotación individual se calcula como:

$$D_{lavavajillas} (L/hab/día) = \frac{f_{lavavajillas}}{7 \cdot n_{hab}} \cdot v_{lavavajillas} \quad (7)$$

La frecuencia de uso ($f_{lavavajillas}$) se obtiene de la encuesta (P21) y $v_{lavavajillas} = 30$ L (Domene *et al.*, 2009).

- g. Otros. En esta categoría se incluyen los usos no considerados hasta el momento:

$$D_{otros} (L/hab/día) = f_{otros\ baño} \cdot d_{otros\ baño} \cdot i_{otros\ baño} + f_{platos} \cdot d_{platos} \cdot i_{platos} + f_{otros\ cocina} \cdot d_{otros\ cocina} \cdot i_{otros\ cocina} \quad (8)$$

Las frecuencias ($f_{otros\ baño}, f_{platos}, f_{otros\ cocina}$) y las duraciones ($d_{otros\ baño}, d_{platos}, d_{otros\ cocina}$) se obtienen directamente de la encuesta (P11, P15, P17 y P12, P16 y P18). Por su parte, se asume $i_{otros\ baño} = 0.042$ L/s, $i_{platos} = 0.125$ L/s y $i_{otros\ cocina} = 0.083$ L/s, de acuerdo con Blokker *et al.* (2010).

Es importante resaltar que este procedimiento para calcular el consumo total se recoge aquí para ilustrar la metodología al completo, pero el interés del artículo reside en las respuestas a las preguntas, que podrían utilizarse para realizar el cálculo de esta u otra manera.

Procesamiento de datos

Entre el 27 de abril y el 29 de mayo de 2020 (aproximadamente un mes) se recibieron un total de 4767 encuestas a través de la página web. Antes de proceder al análisis de resultados, es necesario diseñar una metodología para procesar los datos. En este trabajo se distinguen dos etapas:

- 1) Primer filtrado. En esta etapa se utiliza el juicio de expertos para descartar respuestas sin sentido físico o carentes de lógica. Se eliminan todas las encuestas en las que:
 - a) Haya alguna respuesta con valores negativos
 - b) Se responda a P2 (duración ducha) con más de 90 minutos
 - c) Se responda a P3 (frecuencia inodoro) con más de 20 veces/día
 - d) Se responda a P5 (frecuencia lavado manos) con más de 20 veces/día
 - e) Se responda a P6 (duración lavado manos) con más de 300 segundos
 - f) Se responda a P7 (frecuencia lavado cara) con más de 20 veces/día
 - g) Se responda a P8 (duración lavado cara) con más de 300 segundos
 - h) Se responda a P9 (frecuencia lavado dientes) con más de 20 veces/día
 - i) Se responda a P10 (duración lavado dientes) con más de 300 segundos
 - j) Se responda a P11 (frecuencia otros baño) con más de 20 veces/día
 - k) Se responda a P12 (duración otros baño) con más de 300 segundos
 - l) Se responda a P13 (vasos de agua de grifo para beber al día) con más de 20 vasos/día
 - m) Se responda a P14 (volumen de agua para cocinar) con más de 20 litros/día
 - n) Se responda a P15 (frecuencia lavado platos) con más de 20 veces/día
 - o) Se responda a P16 (duración lavado platos) con más de 900 segundos
 - p) Se responda a P17 (frecuencia otros cocina) con más de 20 veces/día
 - q) Se responda a P18 (duración otros cocina) con más de 600 segundos
 - r) Se responda a P19 (ocupación vivienda) con 0 o más de 20 habitantes/vivienda
 - s) Se responda a P20 (frecuencia lavadora) con más de 20 veces/semana
 - t) Se responda a P21 (frecuencia lavavajillas) con más de 20 veces/semana
 - u) El consumo total sea inferior al valor medio en España (133 L/hab/día - INE, 2018) dividido por 10 (es decir, <13.3 L/hab/día) o superior al valor medio multiplicado por 10 (es decir, >1330 L/hab/día)

En definitiva, estos criterios descartan valores desorbitados para todas las preguntas de respuesta libre, e imponen límites razonables al consumo individual total. Este primer cribado elimina 498 encuestas (10.45% del total).

- 2) Eliminación de valores atípicos. Sobre esta muestra filtrada (4269 encuestas), se lleva a cabo la eliminación de valores atípicos (*outliers*). Se eliminan todas las encuestas en las que alguna de las respuestas $r_{i,j}$; $\forall i = 1, 2, \dots, 4269$; $\forall j = 1, 2, \dots, 22$ a las preguntas difiera en más de 3 veces la desviación típica (σ_j ; $\forall i = 1, 2, \dots, 22$) del valor medio de las respuestas a esa pregunta (μ_j ; $\forall j = 1, 2, \dots, 22$). Se hace referencia a 22 elementos ($\forall j = 1, 2, \dots, 22$) puesto que el consumo total se entiende como una variable adicional, resultado de combinar las anteriores de acuerdo con las Ecuaciones (1)-(8). El criterio de descarte de la encuesta puede escribirse como:

$$\text{Eliminación de la encuesta si } \sum_{j=1}^{22} out_{i,j} \geq 1 \quad (9)$$

$$\text{Con: } out_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } |r_{ij} - \mu_j| > 3 \cdot \sigma_j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}; \quad \forall i = 1, 2, \dots, 4269; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 22 \quad (10)$$

De esta forma se descartan 971 encuestas más.

Este procesamiento de datos en dos etapas hace que se descarten un total de 1469 encuestas, que suponen un 30.82% del total inicial. Se analizan a continuación los resultados de las 3298 encuestas validadas.

RESULTADOS

En este apartado se explotan los resultados de las encuestas que han sido validadas. Concretamente, se presentan los histogramas correspondientes al consumo total y las respuestas a cada una de las preguntas, que serán analizados y ajustados a una función de distribución tipo que permita caracterizar los micro-consumos según la percepción de los participantes. La explicación se centrará fundamentalmente en los valores medios, aunque la varianza de los histogramas también puede ser útil para caracterizar la incertidumbre de los micro-consumos. Esto puede resultar interesante en aplicaciones orientadas a identificar el estado hidráulico más probable en la red (Díaz *et al.*, 2016), aunque este tema queda fuera del ámbito del presente trabajo.

La Figura 1 muestra el histograma en frecuencias relativas del consumo doméstico individual total. Esta imagen permite ver que el valor medio registrado es de 125.66 L/hab/día, concentrándose la mayoría de los valores entre 75 y 150 L/hab/día. Este resultado es ligeramente inferior a los 133 L/hab/día publicados por INE (2018). Esta reducción puede venir condicionada por el perfil de los ciudadanos que hayan decidido responder a la encuesta, ya que es habitual que estas iniciativas de ciencia ciudadana cuenten con la participación de colectivos comprometidos con la ciencia y el consumo responsable. En cualquier caso, viene a confirmar la tendencia a la baja que viene produciéndose en los últimos años como resultado de la concienciación ciudadana en el proceso de adaptación a la nueva realidad impuesta por el cambio climático y la problemática de la escasez de agua. La Figura 1 muestra también que el histograma es ligeramente asimétrico, con mayor pendiente en la rama ascendente, por lo que la distribución tipo Gamma es la que mejor se ajusta a su geometría. La función de densidad $f_g(x)$ de una distribución tipo Gamma puede calcularse como:

$$f_g(x) = \frac{1}{\theta^k \cdot \Gamma(k)} x^{k-1} \cdot e^{-\frac{x}{\theta}} \quad (11)$$

donde k y θ son los parámetros de forma y escala, respectivamente, que en este caso han sido ajustados al histograma. La media y la varianza de esta distribución se pueden calcular como:

$$E[X] = k \cdot \theta \quad (12)$$

$$\text{Var}[X] = k \cdot \theta^2 \quad (13)$$

Se puede comprobar que la media y la varianza calculadas conforme a las Ecuaciones (12) y (13) son muy similares a la media (μ) y la varianza (σ^2) del histograma original, es decir, que la distribución se ajusta bien a los resultados.

La Tabla 3 recoge el porcentaje de respuestas iguales a cero para cada una de las preguntas de respuesta libre de la encuesta, que viene a representar el porcentaje de personas que no llevan a cabo el uso final concreto sobre el que se está preguntando. En este sentido, merece la pena resaltar que la encuesta se lleva a cabo en una situación de confinamiento excepcional, debido a la Declaración del Estado de Alarma en España a causa de la pandemia por COVID-19 (del 14 de marzo al 21 de junio de 2020). Esto hace que los resultados representen el consumo real de agua, ya que la movilidad y la vida social en este período estaba limitada y se han batido récords históricos de teletrabajo en el país. En lo que respecta al valor de los porcentajes en sí, hay que destacar que se obtienen resultados muy similares para las preguntas que se refieren a la frecuencia y duración de un mismo uso (por ejemplo, P5 y P6, P7 y P8, P9 y P10, P11 y P12, P15 y P16, P17 y P18). En general, los valores son bajos (inferiores al 10%) para todos los usos, con algunas excepciones. Por ejemplo, aproximadamente el 25% de los ciudadanos no se lava la cara ninguna vez

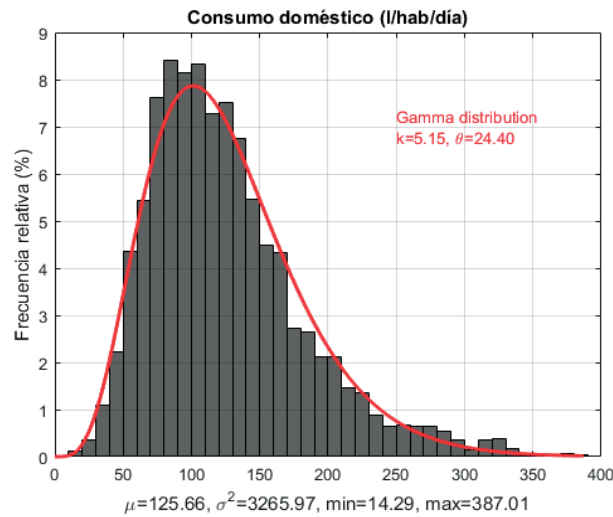


Figura 1 | Histograma en frecuencias relativas del consumo doméstico individual.

(P7 y P8), probablemente debido a que este hábito de higiene se lleva a cabo directamente en la ducha. Por otro lado, un 23% de los encuestados no bebe agua de grifo (P13), debido probablemente al consumo de agua embotellada. Además, las preguntas relativas a otros usos en el baño (P11 y P12) y la cocina (P17 y P18) no son respondidas o son respondidas con 0 por un 86.5 y un 32% de los encuestados, respectivamente. Estas preguntas no son obligatorias y están abiertas a la ocurrencia del encuestado, por lo que es entendible que registren una menor participación.

Tabla 3 | Porcentaje de encuestas con respuesta nula (en preguntas de respuesta libre).

	P2	P3	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P20	P21
%	0.09	0.09	2.00	2.30	24.80	24.14	1.94	3.03	86.42	86.57	23.10	7.67	8.67	8.61	32.29	31.59	2.15	57.25

La Figura 2 muestra los histogramas de frecuencia y duración de todas las preguntas vinculadas a los usos finales que tienen lugar en el baño. Comenzando por la ducha, se puede ver que un 40% de los encuestados se ducha una vez al día (i.e. 7 veces a la semana), siendo la media de 5.27 duchas a la semana, es decir, 0.75 veces al día. Este valor es más similar al recogido en la Tabla 1 para Países Bajos que el propuesto por Cubillo *et al.* (2008) para España, quizás debido a algún factor externo (e.g. factor estacional) que impide su comparación directa. La forma del histograma es claramente asimétrica (se encuentra desplazado a la derecha), aunque el mejor ajuste que se ha logrado ha sido mediante una distribución normal. La función de densidad de una distribución normal $f_n(x)$ se escribe como:

$$f_n(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (14)$$

Donde μ y σ son directamente la media y la desviación típica de las respuestas registradas para la frecuencia (en este caso, de la ducha). La duración media de la ducha es de aproximadamente 10 minutos. Es importante resaltar que se obtienen respuestas concentradas en torno a 5, 10, 15 y 20 minutos (cifras fácilmente identificables para los encuestados). Esto hace que para ajustar la función de distribución de la duración de la ducha se utilicen intervalos cada 5 minutos. El histograma resultante es de nuevo asimétrico, con el máximo desplazado a la izquierda, y se asimila a una función de distribución tipo Gamma.

En lo que respecta al inodoro, se obtiene una frecuencia media de 4.36 veces/día, un valor intermedio entre los valores dados por Blokker *et al.* (2010) y Cubillo *et al.* (2008). La función que mejor se ajusta es la Gamma. No se han recogido en esta figura los resultados a la pregunta P4 (descarga el inodoro) ya que solamente se permitían dos respuestas: media descarga (42.45%) o descarga

completa (57.55%). El predominio de la descarga completa puede también verse afectado por el hecho de que los encuestados dispongan de retretes antiguos, sin opción de media descarga.

La frecuencia de lavado de manos es bastante dispar, alcanzando su media un valor de 5.08. Esta cifra es muy superior a la propuesta por Blokker *et al.* (2010) para el lavado de manos (frecuencia media 1.37, aunque en el fregadero en vez de en el baño), quizás debido a la percepción de los usuarios ante las exigencias de higiene derivadas de la coyuntura por COVID-19. La duración media del lavado de manos es de 17.72 segundos, y vuelven a predominar respuestas de 10, 15, 20, 30 o 60 segundos que sugieren agrupar los valores para el ajuste de la función de distribución. Se ha trabajado con intervalos cada 15 segundos. La función de distribución que mejor se ajusta a la forma del histograma para la frecuencia y duración del lavado de manos es de nuevo tipo Gamma.

En lo que respecta a la frecuencia del lavado de cara, la media se encuentra en 1.49 veces/día, siendo su duración media de 16.50 segundos. La función de distribución Gamma es la que mejor se ajusta al histograma de ambas variables, habiendo sido el histograma de la duración del lavado de cara agregado también cada 15 segundos. En lo que respecta al lavado de dientes, lo habitual es lavarse los dientes 2 o 3 veces al día, siendo la distribución normal la que mejor se ajusta a este hábito. El histograma de la duración media para el lavado de dientes (agregado cada 15 segundos) se ajusta mejor a una distribución tipo Gamma. El comportamiento de la frecuencia y la duración de otros usos del baño es bastante similar a los anteriores (distribución tipo Gamma para ambos), siendo únicamente destacable el bajo valor de las frecuencias de uso. Tal y como se ha comentado, esto puede deberse a falta de ocurrencia por parte de los participantes o simplemente reflejar que los usos finales en el baño se corresponden con los anteriormente preguntados (ducha, inodoro y lavado de manos/cara/dientes). En definitiva, la Figura 2 muestra que los valores de Blokker *et al.* (2010) parecen estar en sintonía con los usos finales del baño en España, excepto para la ducha y el lavado de manos.

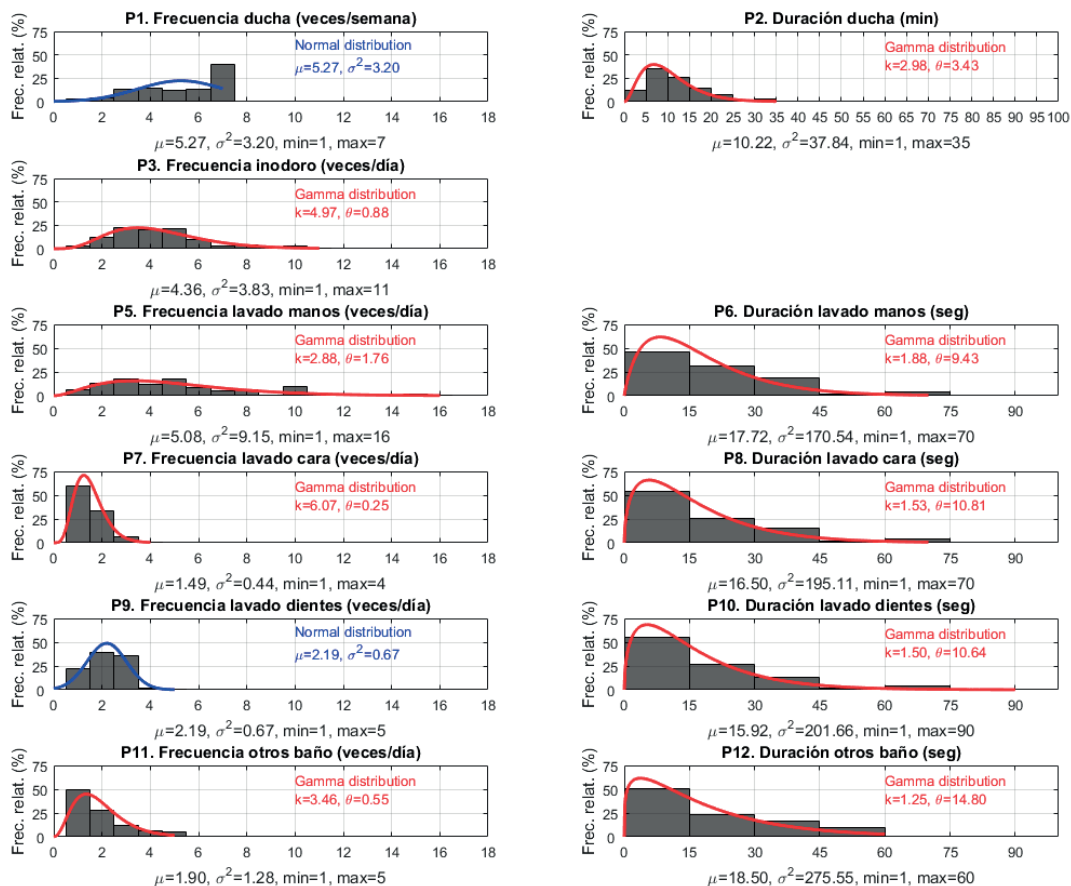


Figura 2 | Histograma en frecuencias relativas de la frecuencia y duración de los usos finales del baño.

La Figura 3 muestra los histogramas relativos para las preguntas P13 (número de vasos de agua de grifo para beber al día) y P14 (litros de agua para cocinar al día), ya relacionadas con el uso de agua en la cocina. Esta imagen muestra que los encuestados beben de media 5.40 vasos de agua al día (aproximadamente 1.35 litros), algo por debajo de la recomendación de beber dos litros diarios. La tendencia se ajusta a una distribución normal. En lo que respecta al agua para cocinar, se registran valores de hasta 8 litros, siendo la media de 2.11 L/día. En este caso, la distribución que mejor se ajusta es tipo Gamma.

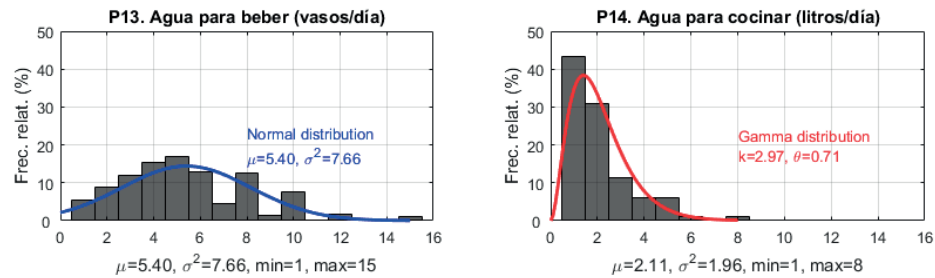


Figura 3 | Histograma en frecuencias relativas de la frecuencia y duración de los usos finales de la cocina: beber y cocinar.

La Figura 4 muestra los histogramas correspondientes a las preguntas P15-P18, que se centran en caracterizar la frecuencia y duración del grifo de la cocina cuando se utiliza para fregar platos u otros usos. La frecuencia de fregar platos se ajusta a una distribución normal con media de 2.01 veces/día. Por su parte, la duración del grifo abierto con esta finalidad registra valores más dispares. Ha sido necesario agregar las duraciones cada 60 segundos para ajustar la forma del histograma relativo a una forma fácilmente identificable: una distribución exponencial. La función de densidad de una distribución exponencial $f_e(x)$ se expresa como:

$$f_e(x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}} \quad (15)$$

Donde μ es en este caso la media de las duraciones (81.42 segundos). En general, los valores de duración registrados en la limpieza de platos/menaje es superior a la propuesta por Blokker *et al.* (2010), inferior al minuto. Esto puede deberse a la mayor tradición de cocina en España. En lo que respecta a otros usos de la cocina, tal y como ya se ha comentado, la frecuencia es baja (1.45 veces/día de media) y la duración (intervalos cada 30 segundos) muestra una variabilidad importante. La función Gamma es la que mejor se ajusta a estos dos histogramas.

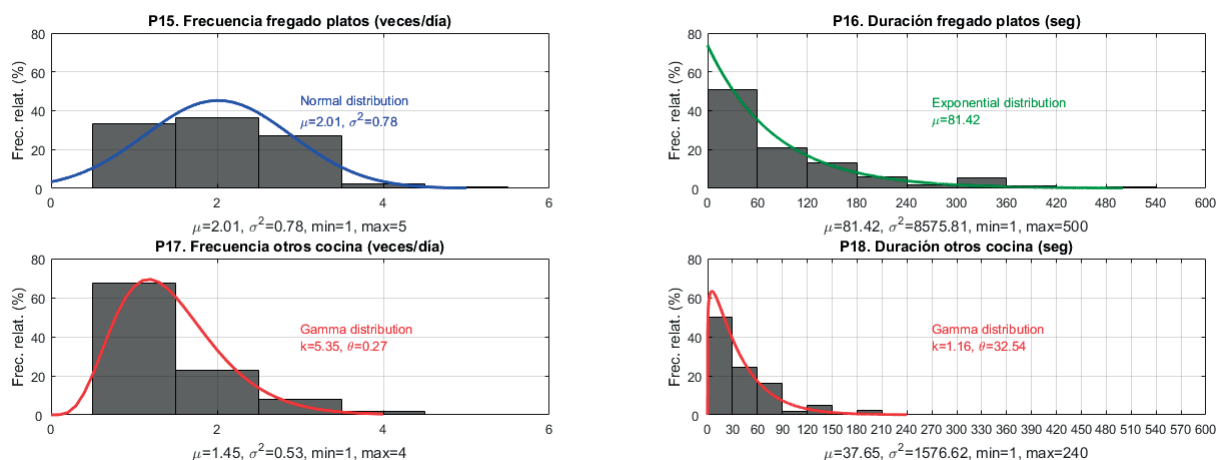


Figura 4 | Histograma en frecuencias relativas de la frecuencia y duración de los usos finales de la cocina: uso del fregadero.

Por último, la Figura 5 muestra los histogramas correspondientes a las preguntas P19-P21. La primera pregunta identifica el número de personas que habita la vivienda de los encuestados (valor medio 3.23, ajuste a distribución normal), ya que en este trabajo se pregunta por las veces a la semana que se pone la lavadora y el lavavajillas en la vivienda. En esta imagen se puede ver que la frecuencia media de uso de la lavadora es de 2.99 veces/semana en cada hogar (aproximadamente 0.13 veces al día por persona considerando la ocupación media), algo inferior a los valores propuestos por Cubillo *et al.* (2008) y Blokker *et al.* (2010). Por su parte, la frecuencia media de uso del lavavajillas es de 4.53 veces/semana en cada vivienda (aproximadamente 0.20 veces al día por habitante). La Figura 5 muestra que hay una clara tendencia a responder que el lavavajillas se utiliza 7 veces/semana (es decir, una vez al día), como si se tratase de un hábito. Es importante resaltar que la tasa de penetración del lavavajillas de los encuestados es de un 42.75% (ver Tabla 3), es decir, que solamente 4 de cada 10 encuestados tienen lavavajillas, pero este electrodoméstico se utiliza bastante en las viviendas que disponen de lavavajillas. También hay que tener en cuenta que se trata de viviendas con una ocupación relativamente alta, lo cual coincide con las tasas de penetración para distintos tipos de finca obtenidas por Cubillo *et al.* (2008). La ocupación media obtenida es superior a 3, cuando el tamaño medio de los hogares españoles es 2.5 (INE, 2020). La circunstancia de confinamiento puede haber condicionado las preguntas respecto al uso de los electrodomésticos, pero los resultados obtenidos son igualmente razonables en orden de magnitud.

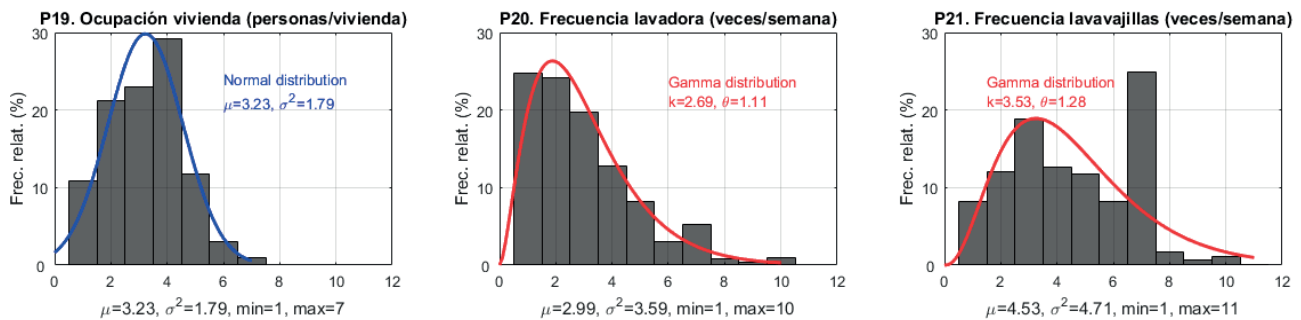


Figura 5 | Histograma en frecuencias relativas de la frecuencia y duración de los usos finales de la cocina: lavadora y lavavajillas.

Estos resultados muestran que la no profesionalidad de los participantes que han respondido la encuesta no parece suponer diferencias irremediables con respecto a las referencias de la literatura. Con un procesamiento de los datos adecuado, se puede llegar a extraer información útil. La encuesta ha probado dar resultados similares en los valores medios de la mayoría de los usos, pero también ha permitido ilustrar diferencias interesantes en términos de duración de duchas, frecuencia de lavado de manos y limpieza de platos/menaje en la cocina. Estas diferencias parecen estar relacionadas con la excepcional situación de confinamiento que se ha vivido en España en la primavera de 2020. Por tanto, puede decirse que la iniciativa ha permitido caracterizar la esencia del consumo de agua en estas circunstancias, y que la ciencia ciudadana es una metodología (en este caso, de bajo coste) viable que puede ser empleada para caracterizar el consumo aproximado de agua residencial. La “agilidad” de esta herramienta para obtener datos hace que tenga potencial para caracterizar cambios en la población, siendo una buena forma de medir el pulso, por ejemplo, del efecto de la concienciación ciudadana o las posibles restricciones que puedan derivar de futuros escenarios de cambio climático. Además, esta experiencia puede servir como referente para plantear encuestas similares que permitan extender los modelos de demanda de alta resolución espacial y temporal a otros usos, como puede ser el uso no residencial (Blokker *et al.*, 2011).

DISCUSIÓN: LECCIONES APRENDIDAS

En este apartado se exponen las lecciones aprendidas como resultado del análisis de las respuestas recopiladas a través de la iniciativa #50lWaterChallenge. En primer lugar, es importante resaltar que los resultados obtenidos son razonables y coherentes con los valores disponibles en la literatura. No obstante, respuestas diferentes podrían haber llevado a resultados igualmente razonables. Esto se debe a que el consumo de agua presenta un comportamiento estocástico, y a lo largo de toda la experiencia se ha trabajado con respuestas determinísticas en lo que respecta a la duración y frecuencia, que simplemente tratan de reproducir el uso de agua

promedio. Lo mismo ocurre con los valores de intensidad asumidos, que en este trabajo se han considerado iguales a los propuestos por Blokker *et al.* (2010), pero que podrían no ser realistas en algunas viviendas. Pese a que se trabaja con dos decimales a lo largo de toda la sección de Resultados (para ser coherentes con el análisis estadístico de las encuestas disponibles), las respuestas recabadas son solamente orientativas del comportamiento de la población encuestada. Por tanto, es una buena estimación de partida, pero sería recomendable llevar a cabo encuestas pormenorizadas para caracterizar la entrada a un modelo estocástico de demandas. Si este fuese el caso, sería deseable dar a los participantes instrucciones precisas sobre cómo llevar a cabo la toma de datos. Por ejemplo, sería positivo que las personas encuestadas realizaran un registro diario de los diferentes usos antes de responder a la encuesta. Tal y como se planteó la experiencia #501WaterChallenge solamente se puede hablar de una caracterización de micro-consumos basada en la percepción de los usuarios, pero estandarizar la recogida de datos permitiría ir un paso más allá en esa caracterización. En este sentido, se recomienda utilizar guías metodológicas que faciliten la puesta en marcha del proyecto de ciencia ciudadana, como por ejemplo la que está desarrollando en la actualidad la Red 4C: Ciencia Ciudadana y Cambio Climático (Red 4C, 2021).

Además, sería interesante validar los resultados obtenidos con medidas reales. En ausencia de equipos de medida en tiempo real, sería interesante poder contrastar los valores recabados con la facturación de los encuestados. Solicitar este tipo de información podría mermar la participación, pero supondría un valor añadido y se podría plantear como una segunda petición, una vez que se ha identificado un colectivo de personas comprometido con este tipo de iniciativas. También sería recomendable incluir preguntas orientadas a caracterizar las condiciones socioeconómicas y geográficas de los participantes. Esto mejoraría el conocimiento de la muestra, que permitiría realizar extrapolaciones a abastecimientos con comunidades de usuarios similares. Estas reflexiones se plantean como posibles mejoras al planteamiento llevado a cabo en este trabajo, aunque quedan fuera de su alcance.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se plantea una encuesta que permite caracterizar los micro-consumos de agua potable en viviendas de acuerdo con la percepción de los usuarios participantes en una experiencia contributiva de ciencia ciudadana. La encuesta se concibe para validar los parámetros que definen el uso final del agua por parte de la población española y se desarrolla en la primavera de 2020, coincidiendo con una excepcional situación de confinamiento en España. Consta de 21 preguntas sencillas, después de las cuales se muestra a los participantes una estimación de su consumo individual de agua potable. Se logran más de 4700 respuestas, de las cuales se valida un 69.18%.

Los resultados obtenidos a nivel de consumo total (valor medio de 125.66 L/hab/día) y caracterización de micro-consumos ponen de manifiesto que las iniciativas colaborativas pueden ser un buen punto de partida para recabar datos que de otra forma serían costosos de obtener. La comparación de los valores medios de frecuencia y duración con referencias de la literatura muestra que en general existe una buena correspondencia. Las diferencias registradas pueden deberse a la excepcionalidad de las circunstancias en 2020, y a la relativa subjetividad de la percepción de los encuestados. No obstante, se puede concluir que esta simple encuesta planteada en torno al #501WaterChallenge es un punto de partida razonable, sobre el cual se podrían diseñar campañas de encuestas de carácter más técnico en zonas concretas o incluso campañas de instrumentación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología – Ministerio de Ciencia e Innovación la financiación del proyecto “Cambio Climático, Aquí y Ahora” (Referencia FCT-18-13279) en el marco de la Convocatoria de ayudas para el fomento de la cultura científica, tecnológica y de la innovación (2018). Asimismo, agradecen a la Red Young Water Professionals (YWP) Spanish chapter, al influencer de ciencia José Luis Crespo (@QuantumFracture) y a la Demarcación del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en Castilla-La Mancha su colaboración en la difusión del #501WaterChallenge.

REFERENCIAS

- Blokker, E.J.M., Pieterse-Quirijns, E., Vreeburg, J., van Dijk, J. 2011. Simulating nonresidential water demand with a stochastic end-use model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137(6), 511-520. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000146](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000146)
- Blokker, E.J.M., Vreeburg, J., Buchberger, S., van Dijk, J. 2008. Importance of demand modelling in network water quality models: A review. *Drinking Water Engineering and Science*, 1(1), 27-38. <https://doi.org/10.5194/dwes-1-27-2008>
- Blokker, E.J.M., Vreeburg, J., van Dijk, J. 2010. Simulating residential water demand with a stochastic end-use model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(1), 19-26. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000002](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000002)
- Buchberger, S., Wells, G. 1996. Intensity, duration and frequency of residential water demands. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(1), 11-19. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1996\)122:1\(11\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1996)122:1(11))
- Buchberger, S., Wu, L. 1995. Model for instantaneous residential water demands. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(3), 232-246. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1995\)121:3\(232\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:3(232))
- Canfield, D.E., Brown, C.D., Bachmann, R.W., Hoyer, M.V. 2002. Volunteer lake monitoring: testing the reliability of data collected by the Florida LAKEWATCH Program. *Lake and Reservoir Management*, 18(1), 1-9. <https://doi.org/10.1080/07438140209353924>
- Creaco, E., Blokker, E.J.M., Buchberger, S. 2017. Models for generating household water demand pulses: Literature review and comparison. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(6), 04017013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000763](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000763)
- Cubillo, F., Moreno, T., Ortega, S. 2008. *Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid*. Cuaderno de I+D+i 4, Canal de Isabel II, Madrid, España.
- Darwall, W.R.T., Dulvy, N.K. 1996. An evaluation of the suitability of non-specialist volunteer researchers for coral reef fish surveys. Mafia Island, Tanzania – a case study. *Biological Conservation*, 78(3), 223-231. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(95\)00147-6](https://doi.org/10.1016/0006-3207(95)00147-6)
- Díaz, S., González, J. 2020. Analytical Stochastic Microcomponent modeling approach to assess network spatial scale effects in water supply systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(8), 04020065. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001237](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001237)
- Díaz, S., González, J. 2021. Temporal scale effect analysis for water supply systems monitoring based on a microcomponent stochastic demand model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(5), 04021023. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001352](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001352)
- Díaz, S., Mínguez, R., González, J. 2016. Stochastic approach to observability analysis in water networks. *Ingeniería del Agua*, 20(3), 139-152. <https://doi.org/10.4995/ia.2016.4625>
- Dickinson, J.L., Zuckerberg, B., Bonter, D.N. 2010. Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 41, 149-172. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636>
- Domene, E., Saurí, D., Martí, X., Molina, J., Huelin, S. 2009. *Tipologías de vivienda y consumo de agua en la región metropolitana de Barcelona*. Fundación Nueva Cultura del Agua, Zaragoza, España.
- Filion, Y., Karney, B., Moughton, L., Buchberger, S., Adams, B. 2008. Cross correlation analysis of residential water demand in the city of Milford, Ohio. *Proceedings of the Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006*, August 27-30, Cincinnati, USA. [https://doi.org/10.1061/40941\(247\)43](https://doi.org/10.1061/40941(247)43)
- Follet, R., Strezov, V. 2015. An analysis of citizen science based research: usage and publication patterns. *PLOS ONE*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143687>

- INE. 2018. INEbase > Agricultura y medio ambiente > Agua > Estadística sobre el suministro y saneamiento del agua: consulta 19 Enero 2021. Disponible en https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602 [Último acceso 08/04/2021]
- INE. 2020. INEbase > Demografía y población: consulta 25 Julio 2020. Disponible en https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254734710984 [Último acceso 08/04/2021]
- Irwin, A. 1995. *Citizen science: A study of people, expertise and sustainable development*. Taylor & Francis, London, UK. <https://doi.org/10.4324/9780203202395>
- Krabbenhoft, C.A., Kashian, D.R. 2020. Citizen science data are a relative complement to quantitative ecological assessments in urban rivers. *Ecological Indicators*, 116, 106476. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106476>
- Magini, R., Pallavicini, I., Guercio, R. 2008. Spatial and temporal scaling properties of water demand. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(3), 276-284. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2008\)134:3\(276\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2008)134:3(276))
- Ministerio de Fomento. 2019. *Documento Básico HS: Salubridad*. Ministerio de Fomento, Madrid, España.
- Pastor-Jabaloyes, L., Arregui, F.J., Cobacho, R. 2018a. Simplifying water consumption flow traces for improving end use recognition: a case study. *Ingeniería del Agua*, 22(4), 195-208. <https://doi.org/10.4995/ia.2018.9476>
- Pastor-Jabaloyes, L., Arregui, F.J., Cobacho, R. 2018b. Water end use disaggregation based on soft computing techniques. *Water*, 10(1), 46. <https://doi.org/10.3390/w10010046>
- Peñalver, P.L., García, P., Pérez, V., Sánchez del Rivero, J.A., Díaz, R., Lastra, J., García, S. 2017. *Sistema de reconocimiento de patrones para identificación de usos finales del agua en consumos domésticos*. Cuaderno de I+D+i 25, Canal de Isabel II, Madrid, España.
- Red 4C. 2021. Disponible en <https://red4c.es/> [Último acceso 08/04/2021]
- Senabre, E., Ferran-Ferrer, N., Perelló, J. 2018. Diseño participativo de experimentos de ciencia ciudadana. *Revista Científica de Educomunicación*, 54(26), 29-38. <https://doi.org/10.3916/C54-2018-03>