

# Trabajo Fin de Máster

**CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA  
DE USUARIOS NO RESIDENCIALES MEDIANTE  
EL USO DE BIG DATA Y PROPUESTA PARA  
LA IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS.  
EJEMPLO DE APLICACIÓN EN CENTROS  
EDUCATIVOS, HOTELES Y  
ESTABLECIMIENTOS DE RESTAURACIÓN.**

**Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA***

**Autor:**

**LAURA AGUSTINA BAZÁN**

**Tutor:**

**DR. FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ**

**Cotutor/es:**

**OMAR VALERA TALAVERA**

**JULIO, 2019**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**



## Resumen del Trabajo de Fin de Máster

### Datos del proyecto

**Título del TFM en español:** Caracterización del consumo de agua de usuarios no residenciales mediante el uso de Big Data y propuesta para la identificación de incidencias. Ejemplo de aplicación en centros educativos, hoteles y establecimientos de restauración.

**Título del TFM en inglés:** Characterisation of water consumption by non-residential users through the use of Big Data and proposal for event detection. Example of application in educational centres, hotels and restoration establishments.

**Título del TFM en Valenciano:** Caracterització del consum d'aigua d'usuaris no residencials mitjançant l'ús de Big Data i proposta per a la identificació d'incidències. Exemple d'aplicació en centres educatius, hotels i establiments de restauració.

**Alumno:** LAURA AGUSTINA BAZÁN

**Tutor:** DR. FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ

**Cotutor:** OMAR VALERA TALAVERA

**Director experimental:** -

**Fecha de Lectura:** JULIO, 2019

### Resumen

#### En español

Los avances tecnológicos implementados en la fase de medición de consumos de agua requieren un adecuado análisis de los datos almacenados para lograr transformar las lecturas en información útil. Los sistemas de telelectura instalados durante los últimos años suponen una importante inversión por parte de las empresas gestoras, proporcionando una cantidad masiva de datos que, analizados correctamente, dan soporte a la toma de decisiones.

Un monitoreo continuo y adecuado de los consumos se traduce tanto en posibles beneficios económicos como ambientales. Conocer con mayor detalle el comportamiento esperado de los diferentes usuarios que conforman una red de agua supone mayor fiabilidad en la detección de incidencias, tales como fugas, eventos extremos de consumos, fraude o fallos en los equipos de medición, dando lugar a la implementación de medidas preventivas y correctivas más eficientes. Adicionalmente, el conocimiento de estas pautas o patrones de

consumo facilita el predimensionado de nuevas conexiones y la selección de las tecnologías de medición a instalar.

Generalmente, las redes de abastecimiento de una población se encuentran conformadas por un considerable número de conexiones domiciliarias o de uso residencial, con tasas de consumo anual relativamente bajas, mientras que los usuarios no residenciales, inferiores en cantidad, demandan con frecuencia un volumen importante del total suministrado. Por otra parte, el comportamiento de éstos últimos en muchos casos es difícil de predecir, ya que depende del tipo de actividad desarrollada y requiere un análisis particular. Por esto, el análisis y caracterización de consumos no residenciales se plantea como punto de partida para una gestión completa y optimizada de las redes de distribución de agua.

El objetivo de este trabajo consiste en determinar pautas de consumo, dotaciones, coeficientes de modulación punta, distribución de los caudales de trabajo y demás parámetros que permitan caracterizar el comportamiento de distintos usuarios no domésticos, poniendo énfasis en una correcta visualización de los resultados, a fin de convertirlos en una herramienta de interpretación sencilla que sirva como apoyo a la toma de decisiones.

Se trabaja con datos de consumo horario, diario, mensual o trimestral correspondientes a centros educativos, hoteles, y establecimientos de restauración, obtenidos a partir de sistemas de telelectura operativos en distintas poblaciones de España. De cada grupo se definen subcategorías, por ejemplo, en el primer caso se distingue entre escuelas infantiles, colegios e institutos y universidades. Para completar el análisis se hace una recopilación de información asociada a cada usuario, tales como número de alumnos y régimen educativo en colegios, cantidad de plazas, categoría y grado de ocupación en hoteles, superficie total y aforo en bares y restaurantes, a fin de definir dotaciones y analizar una posible relación entre las diferentes variables y el consumo de agua. Además, se propone una metodología para definir la distribución del volumen diario consumido para conocer los rangos de caudal más habituales de los usuarios.

En una segunda etapa, se definen algunas metodologías de análisis de los datos masivos, empleando los resultados obtenidos en la fase de caracterización, que apuntan a la detección rápida y sencilla de las posibles incidencias mencionadas anteriormente. A modo de ejemplo, se exponen tres casos de estudio con resultados concretos y algunos comentarios sobre las anomalías detectadas.

Al trabajar con una base de datos masiva es fundamental garantizar una adecuada calidad de los mismos. La implementación de algoritmos de análisis, por más complejos que resulten, pierde total validez si la calidad de los datos de partida es mala. Por esta razón, se plantea una etapa previa de validación de datos basada en una exhaustiva evaluación de características, propuestas por la normativa internacional ISO/IEC 25012 (2019), combinando criterios matemáticos con el comportamiento esperado de cada usuario, a fin de lograr una correcta depuración de las lecturas recibidas, eliminando aquellos datos que puedan distorsionar los resultados.

## En valenciano

Els avanços tecnològics implementats en la fase de mesurament de consums d'aigua requereixen una adequada anàlisi de les dades emmagatzemades per a aconseguir transformar les lectures en informació útil. Els sistemes de telelectura instal·lats durant els últims anys suposen una important inversió per part de les empreses gestores, proporcionant una quantitat massiva de dades que, analitzades correctament, donen suport a la presa de decisions.

Una monitorització continua i adequada dels consums es tradueix tant en possibles beneficis econòmics com ambientals. Conèixer amb major detall el comportament esperat dels diferents usuaris que conformen una xarxa d'aigua suposa major fiabilitat en la detecció d'incidències, tals com fuites, esdeveniments extrems de consums, frau o errors en els equips de mesurament, donant lloc a la implementació de mesures preventives i correctives més eficients. Addicionalment, el coneixement d'aquestes pautes o patrons de consum facilita el predimensionat de noves connexions i la selecció de les tecnologies de mesurament a instal·lar.

Generalment, les xarxes d'abastiment d'una població es troben conformades per un considerable nombre de connexions domiciliàries o d'ús residencial, amb taxes de consum anual relativament baixes, mentre que els usuaris no residencials, inferiors en quantitat, demanen amb freqüència un volum important del total subministrat. D'altra banda, el comportament d'aquests últims en molts casos és difícil de predir, ja que depèn del tipus d'activitat desenvolupada i requereix una anàlisi particular. Per això, l'anàlisi i caracterització de consums no residencials es planteja com a punt de partida per a una gestió completa i optimitzada de les xarxes de distribució d'aigua.

L'objectiu d'aquest treball consisteix a determinar pautes de consum, dotacions, coeficients de modulació punta, distribució dels cabals de treball i altres paràmetres que permeten caracteritzar el comportament de diferents usuaris no domèstics, posant èmfasis en una correcta visualització dels resultats, a fi de convertir-los en una eina d'interpretació senzilla que servisca com a suport a la presa de decisions.

Es treballa amb dades de consum horari, diari, mensual o trimestral corresponents a centres educatius, hotels, i establiments de restauració, obtinguts a partir de sistemes de telelectura operatius en diferents poblacions d'Espanya. De cada grup es defineixen subcategories, per exemple, en el primer cas es distingeix entre escoles infantils, col·legis i instituts i universitats. Per a completar l'anàlisi es fa una recopilació d'informació associada a cada usuari, tals com nombre d'alumnes i règim educatiu en col·legis, quantitat de places, categoria i grau d'ocupació en hotels, superfície total i aforament en bars i restaurants, a fi de definir dotacions i analitzar una possible relació entre les diferents variables i el consum d'aigua. A més, es proposa una metodologia per a definir la distribució del volum diari consumit per a conèixer els rangs de cabal més habituals dels usuaris.

En una segona etapa, es defineixen algunes metodologies d'anàlisi de les dades massives, emprant els resultats obtinguts en la fase de caracterització, que apunten a la detecció

ràpida i senzilla de les possibles incidències esmentades anteriorment. Com a exemple, s'exposen tres casos d'estudi amb resultats concrets i alguns comentaris sobre les anomalies detectades.

En treballar amb una base de dades massiva és fonamental garantir una adequada qualitat d'aquests. La implementació d'algorismes d'anàlisi, per més complexos que resulten, perd total validesa si la qualitat de les dades de partida no és bona. Per aquesta raó, es planteja una etapa prèvia de validació de dades basada en una exhaustiva avaluació de característiques, proposades per la normativa internacional ISO/IEC 25012 (2019), combinant criteris matemàtics amb el comportament esperat de cada usuari, a fi d'aconseguir una correcta depuració de les lectures rebudes, eliminant aquelles dades que puguen distorsionar els resultats.

### **En anglés**

Technological breakthroughs implemented in the water consumption measurement require an adequate analysis of the stored data in order to transform the readings into useful information. Remote reading systems installed in recent years represent a significant investment for the water utilities, providing a massive amount of data that, when correctly analysed, constitute an excellent support for decision-makers.

A continuous and comprehensive control of water consumption translates into both potential economic and environmental benefits. A more detail understanding of the expected behaviour of the different users that are part of a water network means greater reliability in detecting anomalies, such as leaks, extreme consumption events, fraud or meter failures, leading to the implementation of more efficient preventive and corrective measures. Additionally, knowing these consumption patterns facilitates the sizing of new connections and the selection of the measurement technologies.

Generally, water supply networks of a urban are formed by a considerable amount of household or residential connections, with relatively low annual consumption rates, while non-residential users, lower in number, often require a significant portion of volume with respect the total supplied. Moreover, the behaviour of the latter is often difficult to predict, since it depends on the type of activity carried out and requires a specific analysis. For this reason, the analysis and characterisation of non-residential consumption is proposed as a baseline for a complete and optimised management of water distribution networks.

The aim of this work is to establish consumption patterns, distribution of work flows and other parameters that allow to characterize the behavior of different non-domestic users, emphasizing on a correct visualization of the results, in order to become a simple interpretation tool that can be used as a support to decision making.

Work is carried out with hourly, daily, monthly or quarterly consumption data of educational centres, hotels and food and drinks establishments, obtained from operative remote reading systems in different locations in Spain. Subcategories are defined for each group, for example, in the first case a distinction is made between nursery schools, colleges

and institutes and universities. To complete the analysis, information associated with each user is gathered, such as number of students and educational regime in schools, number of places, category and occupancy rate in hotels, surface area and capacity in bars and restaurants, in order to analyse a possible connection between the different variables and the water consumption. Furthermore, a methodology is proposed to define the distribution of the daily volume consumed in order to know the most common flow ranges in users.

In a second phase, using the results obtained in the characterization stage, some methodologies of analysis of the massive data are defined, which aim at the quick and simple detection of the possible events before mentioned. By way of example, three cases of study are presented with specific results and a few comments on the detected anomalies.

When working with big data, it is essential to guarantee an adequate quality of the data. The use of analysis algorithms, regardless of their complexity, loses all value if the initial data quality is deficient. For this reason, a previous phase of data validation is presented based on an exhaustive features evaluation, proposed by the international standard ISO/IEC 25012 (2019), combining mathematical criteria with the expected behaviour of each user, in order to achieve a correct debug of the received readings, removing any data that may misrepresent the results.

**Palabras clave español:** Usuarios no residenciales, Big Data, telelectura, pautas de consumo, identificación de incidencias

**Palabras clave valenciano:** Usuaris no residencials, Big Data, telelectura, pautes de consum, identificació d'incidències

**Palabras clave inglés:** non-residential users, Big Data, remote reading system, consumption patterns, event detection



## Agradecimientos

A mis padres, José y Cristina, por su amor y apoyo incondicional en cada proyecto que decido emprender. Por resignar sus preocupaciones y motivarme a seguir mis sueños. En mis años de formación no hay conocimientos más valiosos que los que me han dado con su ejemplo. Verlos disfrutar de mis logros hace que todo el esfuerzo valga la pena.

A mis hermanas, Débora y Victoria, por tener tanta fe en mí y ayudarme a acortar las distancias. Por su confianza y complicidad. Por enseñarme otra manera de ver la vida.

A mi Tata, mi mayor ejemplo de humildad y perseverancia, y a mis abuelas, Raquel y Pepita, que siempre me acompañan con sus oraciones.

A Migue, por animarme a vivir esta experiencia de aprendizaje y crecimiento. Por insistir en que debo confiar en mi misma e ir tras mis sueños. Agradezco tu apoyo en esas situaciones especialmente tristes, cuando estar lejos de casa se vuelve una dificultad. Tenerte a mi lado ha sido fundamental para seguir adelante. Por tu paciencia y tu simplicidad. Por enseñarme tanto cada día. Haces que todo sea más fácil y bonito. Una vez más lo hemos logrado juntos.

A mi tutor Paco, por involucrarse en mi proyecto y transmitirme desinteresadamente sus conocimientos. Agradezco especialmente el seguimiento que has hecho a mi trabajo, por confiar en mi capacidad y motivarme a explorar libremente diferentes caminos. Por todo el tiempo dedicado, por ayudarme a aclarar mis ideas e inspirarme a hacerlo siempre de la mejor manera. Ha sido una experiencia muy enriquecedora trabajar contigo.

Finalmente, agradezco a Global Omnium por impulsar este proyecto a través de la Cátedra Aguas de Valencia. A Víctor, por sus comentarios y su interés, y en especial a Omar, quien me ha facilitado gran parte de los datos fundamentales para el desarrollo del trabajo, por mantenerse siempre a disposición y responder a tiempo mis consultas.



## INDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Marco teórico .....	1
1.1.1. <i>El agua urbana</i> .....	1
1.1.2. <i>La transformación digital</i> .....	2
1.1.3. <i>Los sistemas de telelectura</i> .....	3
1.2. Importancia del tema .....	5
1.3. Objetivos.....	6
1.1.1. <i>Objetivo General</i> .....	6
1.1.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	6
1.1.3. <i>Limitaciones</i> .....	7
<b>2. MATERIALES Y MÉTODO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Usuarios analizados .....	8
2.1.1. <i>GRUPO I: Centros Educativos</i> .....	8
2.1.2. <i>GRUPO II: Hoteles</i> .....	9
2.1.3. <i>GRUPO III: Establecimientos de Restauración</i> .....	11
2.2. Datos necesarios y fuentes de información .....	11
2.2.1. <i>Consumos de agua</i> .....	11
2.2.2. <i>Capacidad del establecimiento</i> .....	13
2.2.3. <i>Horarios y períodos de actividad</i> .....	14
2.2.4. <i>Servicios e instalaciones</i> .....	15
2.2.5. <i>Otros datos</i> .....	15
2.3. Metodología .....	16
2.3.1. <i>Fase 1: Análisis de calidad de los datos</i> .....	16
2.3.2. <i>Fase 2: Caracterización del consumo</i> .....	16
2.3.3. <i>Fase 3: Identificación de incidencias</i> .....	17
<b>3. ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS DATOS .....</b>	<b>18</b>
3.1. Modelo de calidad propuesto .....	19
3.1.1. <i>Características a evaluar</i> .....	19
3.1.2. <i>Proceso de evaluación</i> .....	21
3.2. Resultados .....	24

3.2.1.	<i>FILTROS I y II: Edad de los datos y completitud</i>	24
3.2.2.	<i>FILTRO III, IV y V: Credibilidad, consistencia y exactitud</i>	27
3.2.3.	<i>FILTRO VI: Cantidad de datos por usuario</i>	29
3.2.4.	<i>Resultados Globales</i>	30
3.3.	Otras características	32
<b>4.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO</b>	<b>34</b>
4.1.	Pautas de consumo propuestas	34
4.1.1.	<i>Curvas de modulación</i>	34
4.1.2.	<i>Dotaciones</i>	37
4.1.3.	<i>Distribución de coeficientes máximos horarios</i>	40
4.2.	Resultados por Grupos	40
4.2.1.	<i>GRUPO I: Centros Educativos</i>	41
4.2.2.	<i>GRUPO II: Hoteles</i>	50
4.2.3.	<i>GRUPO III: Establecimientos de restauración</i>	59
4.3.	Distribución del volumen consumido por rangos de caudal	69
4.3.1.	<i>Lecturas horarias</i>	70
4.3.2.	<i>Lecturas en alta frecuencia</i>	78
4.3.3.	<i>Discusión de resultados</i>	82
<b>5.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS</b>	<b>85</b>
5.1.	Fugas y consumos anómalos	85
5.1.1.	<i>CASO 1: Detección de fugas mediante el uso de pautas de consumo</i>	86
5.2.	Dimensionado de contadores	90
5.2.1.	<i>CASO 2: Detección de contadores con capacidad metrológica insuficiente. Verificación mediante ensayo del contador</i>	91
5.2.2.	<i>CASO 3: Detección de contadores sobredimensionados mediante la distribución del volumen consumido</i>	100
5.3.	Sensibilidad de las técnicas propuestas	104
5.3.1.	<i>Sobre la detección de fugas y consumos anómalos</i>	105
5.3.2.	<i>Sobre el dimensionado de contadores</i>	106
5.4.	Otras aplicaciones	107
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>108</b>
<b>7.</b>	<b>LINEAS FUTURAS</b>	<b>111</b>

<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>112</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>115</b>
9.1. ANEXO I: Calidad de los Datos .....	116
9.2. ANEXO II: Pautas de consumo .....	119
9.2.1. <i>Curvas de modulación anual por trimestre</i> .....	119
9.2.2. <i>Dotaciones UPV</i> .....	121
9.3. ANEXO III: Ensayo de la curva de error.....	124

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transformación digital: de dato a valor (AEI, 2017).....	2
Figura 2. Esquema general del sistema de telelectura (GlobalOmnium, 2012). ....	4
Figura 3. Esquema de telelectura en red fija (GlobalOmnium, 2012). ....	4
Figura 4. Grado de ocupación medio anual en Hoteles 2017 (INE, 2018). ....	10
Figura 5. Distribución de la base de datos según tipo de usuario. ....	12
Figura 6. Grado de ocupación por plaza en la ciudad de Valencia en Hoteles. (Estadística Valencia, 2018).....	14
Figura 7. Características de Calidad de Datos. (ISO/IEC 25012, 2019).....	19
Figura 8. Proceso de evaluación de calidad de los datos.....	22
Figura 9. Cantidad de días por mes con lecturas de consumo. ....	25
Figura 10. Porcentaje de usuarios validados y descartados por el Filtro II.....	26
Figura 11. Porcentaje de datos validados y descartados por los Filtros III, IV y V.....	27
Figura 12. Causas de inconsistencia en los datos (Filtro IV). ....	29
Figura 13. Porcentaje de usuarios validados y descartados por el Filtro VI. ....	30
Figura 14. Porcentaje total de usuarios validados y descartados.....	31
Figura 15. Valoración global de las características evaluadas. ....	32
Figura 16. Distribución normal del consumo diario en establecimientos de restauración. ....	36
Figura 17. Curva de Modulación Anual ESCUELAS INFANTILES. ....	41
Figura 18. Curva de Modulación Semanal ESCUELAS INFANTILES.....	42
Figura 19. Curva de Modulación Diaria ESCUELAS INFANTILES. ....	42
Figura 20. Distribución de coeficientes de modulación máximos horarios ESCUELAS INFANTILES.....	43
Figura 21. Dotación media ESCUELAS INFANTILES. ....	43
Figura 22. Curva de Modulación Anual COLEGIOS E INSTITUTOS.....	44
Figura 23. Curva de Modulación Semanal COLEGIOS E INSTITUTOS. ....	44
Figura 24. Curva de Modulación Diaria COLEGIOS E INSTITUTOS. ....	45
Figura 25. Distribución de coeficientes de modulación máximos horarios COLEGIOS E INSTITUTOS.....	45
Figura 26. Dotación media COLEGIOS E INSTITUTOS.....	46
Figura 27. Curva de Modulación Anual UNIVERSIDADES.....	46
Figura 28. Curva de Modulación Semanal UNIVERSIDADES. ....	47
Figura 29. Curva de Modulación Diaria UNIVERSIDADES.....	47
Figura 30. Distribución de coeficientes de modulación máximos horarios UNIVERSIDADES..	48

Figura 31. Curva de Modulación Anual HOTELES.....	51
Figura 32. Curva de Modulación Semanal HOTELES. ....	51
Figura 33. Curva de Modulación Diaria HOTELES. ....	52
Figura 34. Distribución de coeficientes de modulación máximos horarios HOTELES. ....	52
Figura 35. Dotación mensual en HOTELES. ....	53
Figura 36. Dotación por temporada y categoría en HOTELES.....	53
Figura 37. Variación de la curva de modulación semanal para diferentes períodos del año en HOTELES de Valencia.....	54
Figura 38. Modulación durante festividades HOTELES de Valencia. ....	55
Figura 39. Dotación por temporadas y festivos en HOTELES.....	56
Figura 40. Correlación entre dotaciones y el grado de ocupación hotelera.....	56
Figura 41. Curva de modulación anual CAFETERÍAS Y BARES de Valencia. ....	59
Figura 42. Curva de modulación anual RESTAURANTES de Valencia.....	60
Figura 43. Dotación en ESTABLECIMIENTOS DE RESTAURACIÓN según su superficie. ....	61
Figura 44. Horas populares durante los viernes en una Cafetería de Valencia (Google, 2019). .....	62
Figura 45. Digitalización de las gráficas de horas populares publicadas por Google. ....	64
Figura 46. Modulación de la concurrencia de personas para R0002. Fuente de datos: Google. .....	65
Figura 47. Modulación diaria del consumo de agua para R0002. Fuente de datos: Global Omnium.....	66
Figura 48. Comparación entre curvas de modulación para el usuario R0002. ....	66
Figura 49. Modulación de la concurrencia de personas para R0003. Fuente de datos: Google. .....	67
Figura 50. Modulación diaria del consumo de agua para R0003. Fuente de datos: Global Omnium.....	67
Figura 51. Comparación entre curvas de modulación para el usuario R0003. ....	67
Figura 52. Distribución de los coeficientes de modulación horaria del usuario CE0001.....	73
Figura 53. Curva de error en contadores de agua. ....	77
Figura 54. Distribución del volumen consumido por el usuario CE0001, rangos de caudal iniciales.....	77
Figura 55. Distribución del volumen consumido por el usuario CE0001, contemplando Q1 y Q3 en los intervalos de caudal.....	78
Figura 56. Variación de la distribución del volumen diario consumido por rango de caudales según la frecuencia de registro de los datos. Usuario CE0002. ....	80

Figura 57. Variación de la curva de modulación promedio durante días lectivos según la frecuencia de los datos. Usuario CE0002.....	81
Figura 58. Relación entre el coeficiente punta horario y otros de intervalos de tiempo menores.....	82
Figura 59. Comparación entre dotaciones características de la categoría "Colegios e Institutos" públicos y las correspondientes al usuario CE0003. ....	87
Figura 60. Comparación entre la curva de modulación diaria característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0003.....	88
Figura 61. Comparación entre la curva de modulación semanal característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0003.....	89
Figura 62. Equipo de medición en alta frecuencia instalado junto al contador del usuario CE0004.....	92
Figura 63. Banco de ensayo de contadores utilizado.....	93
Figura 64. Posiciones de ensayo del contador. Usuario CE0004. ....	96
Figura 65. Comparación entre la curva de modulación diaria característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0004, para días lectivos. ....	96
Figura 66. Comparación entre la curva de modulación semanal característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0004.....	97
Figura 67. Comparación entre dotaciones características de la categoría "Colegios e Institutos" privados y privados concertados, y las correspondientes al usuario CE0004. ....	97
Figura 68. Distribución del volumen consumido por el usuario CE0004 utilizando datos horarios .....	98
Figura 69. Distribución del volumen consumido por el usuario CE0004 con datos cada 10 minutos.....	98
Figura 70. Resultados ensayo de curva de error del contador. Usuario CE0004.....	99
Figura 71. Comparación entre la curva de modulación diaria característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0005, para días lectivos.....	101
Figura 72. Comparación entre la curva de modulación semanal característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0005.....	102
Figura 73. Comparación entre dotaciones características de la categoría "Colegios e Institutos" privados y privados concertados, y las correspondientes al usuario CE0005. ....	102
Figura 74. Distribución del volumen diario consumido por el usuario CE0005, a partir lecturas horarias, cada 10 y 2 minutos. ....	103
Figura 75. Sensibilidad y especificidad en la detección de incidencias. ....	105
Figura 77. Alternativa para la visualización de resultados de calidad de los datos.....	117
Figura 78. Correlación entre días con registro y días descartados .....	118
Figura 79. Curva de Modulación Anual (por trimestre) ESCUELAS INFANTILES. ....	119
Figura 80. Curva de Modulación Anual (por trimestre) COLEGIOS E INSTITUTOS.....	119

Figura 81. Curva de Modulación Anual (por trimestre) UNIVERSIDADES.....	120
Figura 82. Curva de Modulación Anual (por trimestre) HOTELES.....	120
Figura 83. Curva de modulación anual (por trimestre) BARES y CAFETERÍAS. ....	121
Figura 84. Curva de modulación anual (por trimestre) RESTAURANTES. ....	121
Figura 85. Curva de modulación anual Campus de Vera UPV. ....	122
Figura 86. Dotaciones desde la red de suministro. Campus de Vera UPV.....	123
Figura 87. Curva de error contador horizontal. Usuario CE0004.....	126
Figura 88. Curva de error contador inclinado. Usuario CE0004. ....	129

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de centros educativos según titulación y régimen (EDUCACIONYFP, 2019).	9
Tabla 2: Oferta 2017 de alojamientos turísticos (INE, 2018).	10
Tabla 3. Datos de consumo de agua, periodicidad de las lecturas.	12
Tabla 4. Cantidad de usuarios por grupo y categoría.	12
Tabla 5. Períodos de actividad por grupo.	15
Tabla 6. Resultados por grupos del Filtro II.	26
Tabla 7. Resultados por grupos del Filtro VI.	29
Tabla 8. Resultados finales por grupo.	30
Tabla 9. Dotaciones por temporadas y festivos en HOTELES.	56
Tabla 10. Rangos de valores de los coeficientes de modulación horaria.	72
Tabla 11. Distribución de los coeficientes de modulación horaria del usuario CE0001.	72
Tabla 12. Caudales característicos para cada intervalo, correspondiente al usuario CE0001.	73
Tabla 13. Cálculo de la distribución de caudales de trabajo para el usuario CE0001.	75
Tabla 14. Detalles CASO 1 de identificación de incidencias.	86
Tabla 15. Detalles CASO 2 de identificación de incidencias.	91
Tabla 16. Caudales ensayados.	95
Tabla 17. Detalles CASO 3 de identificación de incidencias.	100
Tabla 18. Consumo total anual por fuente de suministro. Campus de Vera UPV (SGA-UPV, 2015).	123
Tabla 19. Resumen resultados ensayo 1	126
Tabla 20. Resumen resultados ensayo 2	129

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Marco teórico

#### 1.1.1. El agua urbana

Según datos oficiales el agua destinada al abastecimiento de ciudades en España no supera el 20% (INE, 2018) dejando claro que el uso urbano del recurso constituye un volumen minoritario de utilización respecto a otros como la agricultura o la industria. Sin embargo, tiene un carácter estratégico por representar la relación más directa con el ser humano y su condición de ciudadano, reconociendo una prioridad indiscutible en la planificación.

A mitad de siglo se espera que prácticamente el 70% de la población mundial viva en zonas urbanas. Este panorama deja a la vista que el futuro del planeta está en las ciudades y uno de los principales retos para lograr un desarrollo sostenible será administrar de manera inteligente los servicios básicos como el agua. Para que las comunidades se vuelvan sostenibles, equilibrando la demanda con el suministro, es esencial que los gestores dispongan de información completa y actualizada, tanto de la disponibilidad del recurso como de las cantidades requeridas por la población (ONU, 2018).

La Asociación Internacional del Agua (IWA), en el marco de su programa “Ciudades del Futuro”, sostiene que una adecuada gestión urbana permitirá a las instituciones y los ciudadanos participar plenamente en la toma de decisiones para lograr atravesar con éxito las consecuencias del estrés ambiental y social, generadas por el cambio climático, el crecimiento de la población y la escasez de recursos (Andrews, 2016).

En el contexto urbano resulta habitual asociar los abastecimientos de agua al uso doméstico y a las zonas residenciales que conforman una población, aunque la provisión del servicio también se encuentra vinculado al desarrollo de actividades que dan lugar al “uso no residencial” del agua. Entre los principales está el suministro a sectores comerciales, institucionales e industrias emplazadas dentro del ámbito municipal, además del riego de espacios verdes comunes y limpieza de calles.

Generalmente, las redes de abastecimiento están constituidas por un considerable número de conexiones domiciliarias o de uso residencial, con tasas de consumo anual relativamente

bajas, mientras que los usuarios no residenciales, inferiores en cantidad, demandan con frecuencia un volumen importante del total suministrado.

### 1.1.2. La transformación digital

El concepto de Industria 4.0 es relativamente reciente y se refiere a la denominada cuarta revolución industrial, que consiste en la introducción de las tecnologías digitales en la industria (AEI, 2017). En el sector del agua la transformación digital es un concepto incorporado en los últimos años cuyo modelo de cambio se basa en la generación de información de valor a partir de datos operativos, capturados directamente de entornos monitorizados.



Figura 1. Transformación digital: de dato a valor (AEI, 2017)

Otro concepto asociado al proceso de digitalización es el denominado internet de las cosas o IoT (*Internet of Things*), que va desde herramientas de captura y transmisión digital de datos en “*streaming*”, con un gran aumento en la capacidad de almacenamiento (*Big Data*), hasta la aplicación de algoritmos en plataformas de análisis combinados para la toma de decisiones en tiempo real, conocidos como “*machine learning*” e IA (Inteligencia Artificial). Todos estos elementos se interconectan a través de software y redes, generando entornos de visualización de resultados que mejoran la utilidad de los datos.

Desde esta perspectiva, la industria del agua va por detrás de otros sectores, tales como el sector energético, dando la posibilidad de examinar las buenas prácticas y lecciones aprendidas por las compañías gestoras de otros servicios.

La aceptación e incorporación de estas nuevas tecnologías en las operaciones diarias de las compañías hace que evolucionen los modelos de gestión y explotación de servicios, además del diseño y ejecución de nuevos proyectos. Este cambio propone reinventar los modelos de negocios en la industria del agua y requiere un cambio en la metodología y organización del trabajo dentro de las corporaciones (RETEMA, 2019).

### 1.1.3. Los sistemas de telelectura

Bajo la premisa de que “sólo es posible controlar lo que se conoce” diversos autores coinciden en la importancia de completar las fases de medición con un adecuado análisis y evaluación del comportamiento de los consumidores (Marinho, et al., 2013).

Probablemente, el registro de consumo de los usuarios es una de las fuentes de datos más valiosa para las compañías de abastecimiento. Históricamente, se han recopilado con frecuencias anuales o mensuales y han tenido poco uso más allá de la generación de facturas. Dicho esto, se puede afirmar que los datos forman parte de la industria del agua desde sus inicios, sin embargo, es a partir de la transformación digital del sector que se puede explotarlos.

Entre las herramientas más innovadoras vinculadas a este proceso de evolución tecnológica aparecen los sistemas de telelectura que permiten disponer de una gran cantidad de datos de consumo que, analizados adecuadamente, representan un apoyo fundamental a la toma de decisiones.

Con su aparición, el valor de los datos de consumo ha aumentado exponencialmente, dando lugar a la medición en término de días, horas e incluso minutos. A partir de éstos, podemos comprender la cantidad de agua que se debe proporcionar y a qué hora. De forma individual, se pueden identificar las fugas y emplearse para la caracterización del consumo de agua. En un enfoque colectivo, se pueden usar para indicar áreas del distrito con patrones de consumo diferenciados. El uso de los datos de consumo es prácticamente infinito (Grievson, 2019).

Estas nuevas tecnologías se basan en la recogida a distancia y almacenamiento masivo de las lecturas registradas por contadores instalados en una red de agua. Los sistemas de lectura remota consisten básicamente en la instalación de módulos de radio asociados a los contadores que, mediante un sistema de comunicación fijo o móvil, capturan los datos recogidos en el módulo y los envía al Sistema de Información para su almacenamiento.



Figura 2. Esquema general del sistema de telelectura (GlobalOmnium, 2012).

Los sistemas fijos convencionales cuentan con una infraestructura creada “Ad hoc” para recoger la información y transmitirla al servidor central sin necesidad de desplazar operarios al campo. Con algunas variantes de acuerdo a la solución que aporte cada fabricante, están conformadas por distintos elementos, tales como repetidores, colectores y concentradores o “Gateway”, tal como muestra la Figura 3.

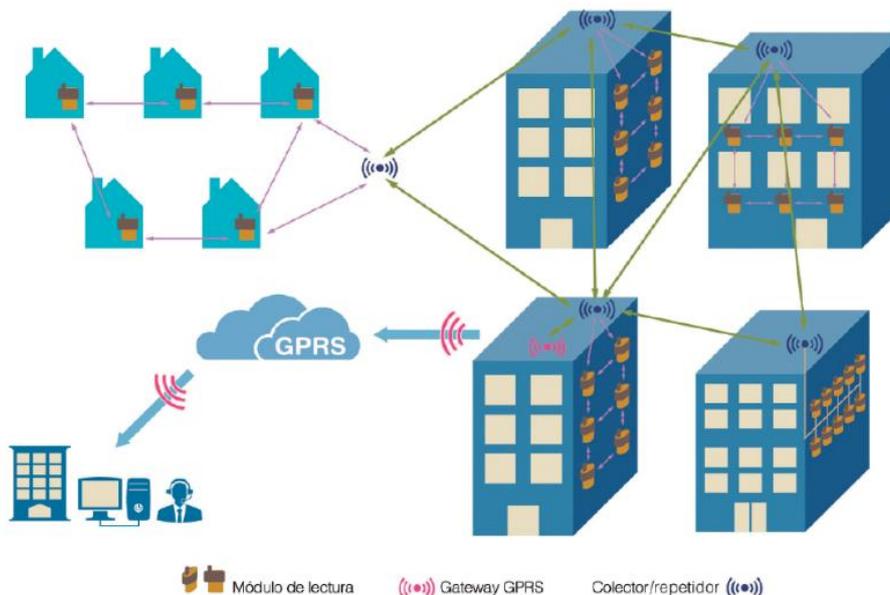


Figura 3. Esquema de telelectura en red fija (GlobalOmnium, 2012).

Por otra parte, con la publicación del estándar mundial *NarrowBand\_IoT* en 2016 se ha abierto un abanico de posibilidades en relación a las comunicaciones, permitiendo transmitir señales más robustas en cuanto a interferencias, superando los problemas de cobertura de las redes actuales. En la industria del agua esta tecnología aún está en etapa de prueba, pero es con seguridad una de las mejoras inminentes a implementar en el sector (GlobalOmnium, 2012).

## 1.2. Importancia del tema

Las innovadoras tecnologías de medición implementadas en las últimas décadas para el registro de consumos de agua, junto al incremento exponencial en las capacidades de almacenamiento masivo de datos, obligan a plantear metodologías de análisis adecuadas para lograr transformar las lecturas en información y conocimiento que permita darles un uso efectivo. El desafío de estos días reside en desarrollar técnicas de procesamiento de los datos almacenados y visualización de resultados que den soporte a la toma de decisiones en la gestión diaria de los abastecimientos.

Los sistemas de telelectura instalados en distintas poblaciones de España suponen una importante inversión por parte de las empresas gestoras y tiene como objetivo el monitoreo continuo y en tiempo real, basándose en la premisa de que sin datos de consumo se hace imposible la gestión de la demanda.

En reiteradas ocasiones, el comportamiento de usuarios no residenciales no se encuentra definido, ya que requiere un análisis específico contemplando diferentes variables, según el tipo de actividad que desarrolle. Por esta razón, este trabajo plantea el análisis y caracterización de consumos no residenciales como punto de partida para una gestión completa y optimizada de las redes de distribución de agua.

Conocer con mayor detalle el comportamiento esperado de los diferentes usuarios que conforman una red supone mayor fiabilidad en la detección de incidencias, tales como fugas, consumos no autorizados o eventos extremos, fraude o fallos en los equipos de medición, etc., dando lugar a la implementación de medidas correctivas más eficientes, mejorando los niveles de servicio. Adicionalmente, el conocimiento de estas pautas de consumo facilita el predimensionado de nuevas conexiones y la selección de las tecnologías de medición a instalar, optimizando la vida útil de los activos y su mantenimiento predictivo.

Desde el punto de vista económico, esto se traduce en posibles beneficios económicos tendientes a reducir los niveles de agua no facturada evitando subcontajes, por ejemplo, o disminuyendo los errores en la estimación de consumos eventualmente no registrados.

Respecto a los potenciales beneficios ambientales, se apunta a un servicio eficiente a través de la detección y reducción de fugas, identificación de consumos no autorizados, optimización de la energía empleada para la distribución, etc.

### 1.3. Objetivos

#### 1.1.1. Objetivo General

Al trabajar con bases de datos conformadas por un volumen masivo de lecturas de consumo de agua, es necesario disponer de una caracterización global que permita definir, en primera instancia, los límites de aceptación de los datos y el comportamiento esperado de los usuarios. A partir de ello, será posible dar valor agregado a los datos almacenados mediante herramientas y técnicas de procesamiento optimizadas, tales como modelos predictivos y algoritmos de análisis más complejos. Este trabajo se plantea como una base fundamental para posteriores análisis más sofisticados.

El objetivo principal de este trabajo consiste en definir pautas de consumo de agua que permitan caracterizar el comportamiento de distintos tipos de usuarios no residenciales frecuentes en una población, y a partir de allí plantear una metodología de análisis de datos para la identificación de posibles incidencias o anomalías, poniendo especial énfasis en la correcta visualización de los resultados.

#### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Dar mayor utilidad a las bases de datos generadas a partir de los sistemas de telelectura.
- Definir criterios específicos para la evaluación de la calidad de los datos de consumo.
- Proponer diversas alternativas de visualización de resultados para la evaluación de la calidad de bases de datos masivas.
- Determinar, para una muestra limitada de usuarios, curvas de modulación reales de consumo diarias, semanales y anuales en centros educativos, hoteles y establecimientos de restauración.
- Determinar dotaciones y coeficientes punta característicos en centros educativos, hoteles y establecimientos de restauración.
- Proponer técnicas para definir la distribución del volumen consumido por un usuario, visualizando los rangos de caudal más habituales.
- Proponer una metodología para la detección de fugas y consumos anómalos.

- Plantear un análisis de sensibilidad de los contadores instalados.
- Verificar la metodología propuesta aplicándola a casos de estudio específicos, determinando el grado de sensibilidad de los resultados.

### 1.1.3. Limitaciones

La caracterización del consumo de agua de los usuarios no residenciales incluidos en este trabajo contempla las particularidades de cada grupo seleccionado para el estudio.

Para evitar errores en la extrapolación de los resultados expuestos a otros casos de estudio se debe prestar especial atención a las particularidades detalladas en el apartado del capítulo siguiente “2.1. Usuarios analizados”.

Si bien las metodologías de análisis expuestas en cada fase de análisis pueden ser útiles para el estudio del comportamiento de otros usuarios en poblaciones de diferentes países, cabe aclarar que las pautas de consumo obtenidas en la fase de caracterización, y en particular las curvas de modulación, sólo son representativas de España y de la muestra que ha podido ser analizada en el ámbito de este trabajo. Extender las conclusiones de este trabajo a usuarios no residenciales que no sean compatibles a los grupos de estudio descriptos puede llevar a errores sustanciales.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1. Usuarios analizados

Dentro de los usos no residenciales presentes en un núcleo urbano existen diversas variables que definen su comportamiento, tales como la cantidad de personas involucradas, horas de actividad, usos específicos del recurso, tales como la elaboración de productos o la prestación de servicios, etc.

Para la selección de los grupos de usuarios a analizar se contempla tanto la viabilidad de obtener datos que se consideran necesarios para el estudio, la homogeneidad de la actividad dentro de un mismo grupo y su probable existencia dentro de una población. A partir de estas premisas, se han seleccionado tres grupos detallados a continuación.

#### 2.1.1. GRUPO I: Centros Educativos

Un centro educativo o centro docente se define como un establecimiento destinado a la enseñanza. Es posible asegurar con total certeza que la actividad está presente en toda población, independientemente de su tamaño y ubicación geográfica. De todas maneras, a fin de obtener resultados representativos y que puedan ser de utilidad para la gestión de los abastecimientos de agua, se opta por enfocar el estudio sobre los principales niveles educativos de España, quedando fuera del alcance del análisis centros de educación a distancia, de educación especial, educación para adultos, escuelas de oficios, deportes, idiomas, música y arte.

El primer grupo, queda definido entonces por tres categorías:

- Guarderías y escuelas infantiles: educación preescolar, de 0 a 6 años.
- Colegios e Institutos: educación primaria, secundaria y bachillerato, de los 6 hasta los 18 años.
- Universidades: educación superior de grado, máster y doctorado.

La importancia de analizar este tipo de establecimientos radica en que el uso de agua en el ámbito educativo representa un porcentaje muy significativo del consumo total en núcleos urbanos. Como ejemplo, cabe mencionar que los colegios de titularidad pública, pueden representar hasta un 25% del consumo de agua destinada a usos y edificios públicos habituales en una población (Farina, et al., 2013). Por otra parte, un dato que refleja la

relevancia a nivel poblacional que involucra esta actividad es el referido al ciclo lectivo 2016-2017, durante el cual se han mantenido en actividad 32.588 centros educativos presenciales en España, de los cuales el 67% son de régimen público, admitiendo en total más de 8 millones de alumnos (EDUCACIONYFP, 2019).

La Tabla 1 muestra los datos actualizados referidos a centros educativos de España.

Tabla 1. Cantidad de centros educativos según titulación y régimen (EDUCACIONYFP, 2019).

RÉGIMEN	Educación Infantil	Primaria, ESO, Bachillerato y FP	Universidades	Educación Especial	Escuelas de Artes	Escuelas de Música y Danza	Escuelas Oficiales de Idiomas	Escuelas Deportivas	Educación Adultos	Educación a Distancia	%
PÚBLICO	4.456	14.366	50	197	110	1.038	317	7	1.427	7	67%
PRIVADO	4.495	4.398	34	277	43	442	-	890	41	15	33%
%	27.4%	57.5%	0.3%	1.5%	0.5%	4.5%	1.0%	2.8%	4.5%	0.1%	100%

### 2.1.2. GRUPO II: Hoteles

Dentro de lo que se define como establecimiento de hostelería, los hoteles son una categoría cuya actividad principal es la de ofrecer alojamiento a las personas, a cambio de una cantidad monetaria, con o sin servicios complementarios. Se diferencian del resto de modalidades por contar con accesos e instalaciones de uso exclusivo. Otros establecimientos, tales como hostales y pensiones, prestan un servicio que no alcanza los niveles exigidos a los hoteles, entre otras cosas por la posibilidad de emplazarse en partes no independientes de una edificación. Este aspecto resulta fundamental a la hora de analizar los consumos de agua ya que la medición podría verse afectada por otros usos dentro de un mismo edificio. Teniendo claro estas diferencias, el presente trabajo contempla sólo aquellos usuarios que califican dentro de la categoría “hoteles”.

Atendiendo a su ubicación relativa a la urbanización pueden clasificarse entre hoteles de playa, ciudad, rurales y de carretera. En este caso, con el mismo criterio aplicado al resto de grupos de estudio y a fin de explorar casos cuyos resultados puedan extrapolarse a otras poblaciones se decide incluir en el análisis sólo hoteles de ciudad.

Si bien la actividad hotelera puede asumirse como existente en la mayoría de las poblaciones españolas, ésta toma relevancia en aquellas que cuentan con un mayor desarrollo turístico. Según datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística mostrados en la Tabla 2, en el año 2017 las plazas de hoteles representaron el 68% del total ofrecido por diferentes alojamientos turísticos de España.

Tabla 2: Oferta 2017 de alojamientos turísticos (INE, 2018).

Alojamiento Turístico	Establecimientos abiertos estimados	Plazas ofrecidas estimadas	% respecto plazas totales ofrecidas
<b>HOTELES</b>	<b>14.659</b>	<b>1.472.641</b>	<b>68%</b>
APARTAMENTOS	134.561	519.646	24%
ALBERGUES RURALES Y HOSTALES	16.500	179.098	8%
		2.171.385	100%

La ocupación media anual alcanzó ese mismo año el 61%, con porcentajes algo superiores en las Comunidades Autónomas de la costa mediterránea, tal como se observa en la Tabla 2: Oferta 2017 de alojamientos turísticos . Figura 4.

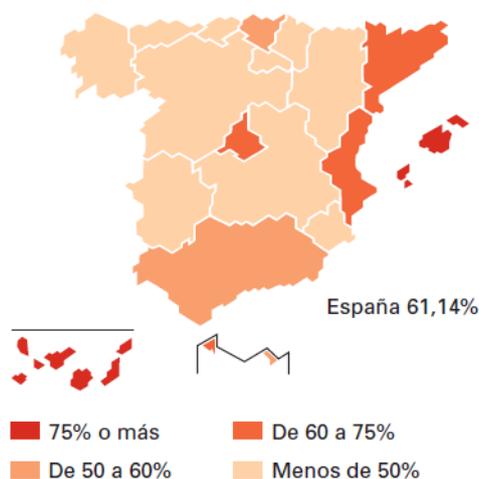


Figura 4. Grado de ocupación medio anual en Hoteles 2017 (INE, 2018).

Finalmente, cabe mencionar que el comportamiento de este tipo de usuarios se ve íntimamente ligado al nivel de desarrollo de la actividad turística propio de la región donde se encuentran emplazados.

Teniendo en cuenta estas aclaraciones, para este trabajo se propone el análisis de hoteles ubicados en ciudades sobre la costa mediterránea española.

### 2.1.3. GRUPO III: Establecimientos de Restauración

Las actividades de restauración conforman un sector estratégico para la economía de España. Según diferentes estudios realizados por la compañía de consultoría privada “Nielsen Holdings”, durante 2018 han estado en actividad más de 270.000 establecimientos de restauración, de los cuales los bares suponen el 60% del total del conjunto, seguidos por los restaurantes, que representan un 25% (CEHE, 2018). Durante 2016 una compañía multinacional de medición y análisis de datos realizó un estudio sobre el sector dentro del territorio español llegando a una relación de un bar cada 175 personas, situándose como el primer país con más densidad de bares por habitante a nivel mundial (Nielsen, 2016).

La normativa vigente entiende por establecimientos de restauración aquéllos en los que, de forma habitual, profesional y mediante precio, se sirven alimentos y/o bebidas para ser consumidos en el propio local o en áreas anejas pertenecientes al mismo, refiriéndose a terrazas o jardines, con o sin otros servicios complementarios. Se clasifican en diferentes grupos, siendo de interés para este trabajo aquellos que desarrollan una actividad permanente.

La primera categoría o subgrupo considerada es la de restaurantes. Se trata de establecimientos que cuentan con zona de comedor y cocina independizados y que ofrecen al público carta de platos y bebidas a ser consumidos en el local. El segundo grupo está conformado por bares y cafeterías, que ofrecen comidas y bebidas para un refrigerio rápido, a ser consumidos en barras, mostrador, el propio lugar o dependencias anejas. Quedan fuera del alcance de este estudio salones de fiestas, clubes nocturnos e instalaciones provisionales de temporada.

## 2.2. Datos necesarios y fuentes de información

### 2.2.1. Consumos de agua

La principal base de datos empleada para llevar a cabo el análisis de los usuarios no domésticos seleccionados ha sido aportada por los sistemas de telelectura de diferentes

compañías gestoras y está conformada por lecturas de consumo horarias, mensuales y trimestrales de 290 abonados, identificados en 16 municipios de España.

La Tabla 3 detalla la frecuencia de los datos disponibles.

Tabla 3. Datos de consumo de agua, periodicidad de las lecturas.

GRUPO	CATEGORÍA	LECTURA		
		HORARIA	MENSUAL	TRIMESTRAL
I	Escuelas Infantiles	X		X
	Colegios e Institutos	X		X
	Universidades	X	X	
II	Hoteles	X		
III	Bares y Cafeterías	X		
	Restaurantes	X		

En primera instancia, se realiza una identificación de este tipo de usuarios en los sistemas de información de los abastecimientos y se clasifican tal como muestran la Tabla 4 y Figura 5.

Tabla 4. Cantidad de usuarios por grupo y categoría.

GRUPO I	Educación Infantil	70	212
	Colegios e Institutos	136	
	Universidades	6	
GRUPO II	Hoteles	38	38
GRUPO III	Bares y Cafeterías	19	40
	Restaurantes	21	

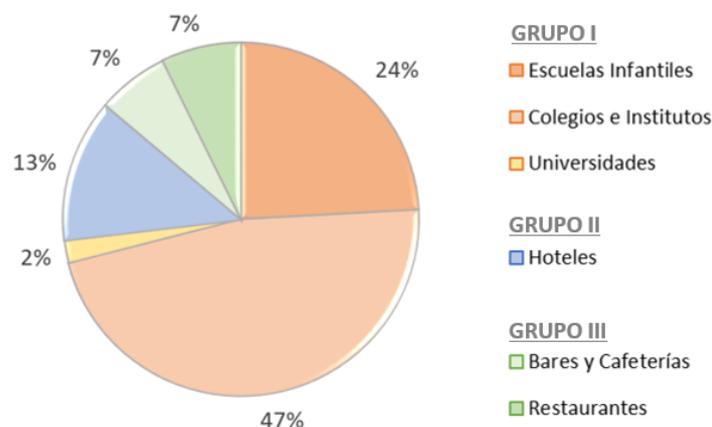


Figura 5. Distribución de la base de datos según tipo de usuario.

### 2.2.2. Capacidad del establecimiento

Además de las lecturas de consumo es indispensable disponer de otros datos que describan la actividad llevada a cabo por cada usuario. La capacidad o cantidad de personas que cada centro o establecimiento está habilitado a recibir resulta la primera variable a analizar en relación a los volúmenes de agua consumidos.

En el caso del Grupo I, la cantidad de alumnos se obtiene en general a partir de datos oficiales publicados por la Consellería de cada Comunidad Autónoma, verificando o completando en algunos casos los datos publicados en las páginas web propias de cada centro educativo. Cabe aclarar que, a los fines prácticos se asume que la cantidad de alumnos real es igual al número total de puestos habilitados.

La cantidad de plazas disponibles de los usuarios del Grupo II, se obtienen de los registros turísticos disponibles on-line de las distintas Comunidades Autónomas involucradas en el estudio, completando en algunos casos los datos faltantes con información publicada en la página web de cada establecimiento. No obstante, conocer el número de plazas ofrecidas no es suficiente a la hora de analizar los consumos y definir las dotaciones características de un alojamiento turístico, ya que existe otra variable denominada “grado de ocupación hotelera” que permite estimar con mayor exactitud la cantidad de plazas realmente ocupadas durante distintos períodos del año.

Por esta razón, los datos recopilados correspondientes al Grupo II, se completan con el grado de ocupación correspondiente a cada período del año. Se trata de un factor expresado en porcentaje de ocupación respecto a la cantidad de plazas ofertadas, que varía principalmente en función a los distintos períodos de temporada turística y las festividades propias de cada región. Es registrado y publicado por diferentes asociaciones hoteleras de carácter privado, además de encontrarse disponible en las oficinas de estadísticas y agencias de turismo de derecho público de diversas Comunidades Autónomas.

Para la determinación de dotaciones características de esta categoría, tal como se detalla en el Capítulo 4, se toman datos como los que muestra la Figura 6, obtenidos de los informes anuales de la Oficina de Estadísticas del Ayuntamiento de Valencia.

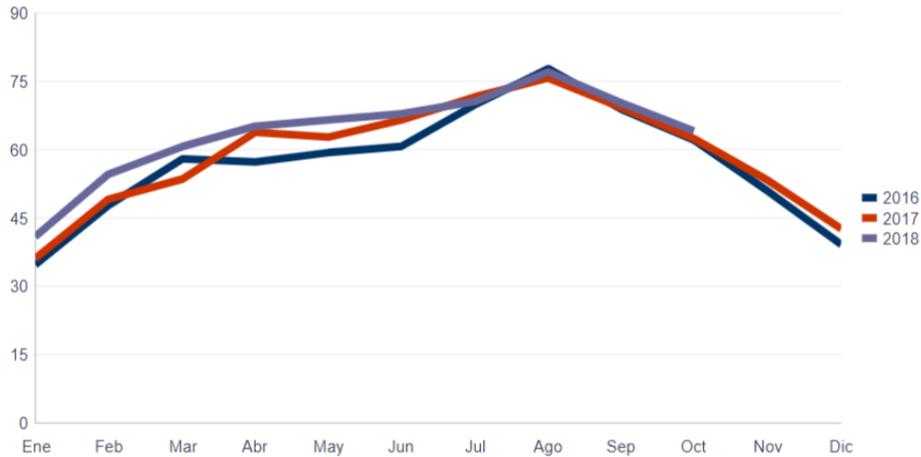


Figura 6. Grado de ocupación por plaza en la ciudad de Valencia en Hoteles. (Estadística Valencia, 2018)

Respecto al Grupo III, ha habido cierta dificultad para reunir este tipo de información ya que el aforo y otros datos asociados a la ocupación permitida de los establecimientos suelen estar expuestos en el propio local y en muy pocos casos se encuentran disponibles en la web. Por esta razón se ha realizado una inspección personal recorriendo el 65% de los bares, cafeterías y restaurantes incluidos en el análisis, a fin de evaluar la factibilidad de incluirla como variable de análisis. En aquellos establecimientos que no han podido ser visitados se estima el aforo a partir de fotografías e imágenes satelitales.

Para sacar más provecho de la inspección de cada lugar se recopilan adicionalmente otros datos relevantes, tales como, servicios prestados, instalaciones existentes, superficie de acceso público, entre otras.

Respecto al grado de concurrencia en los establecimientos de restauración se dedica un apartado específico dentro del capítulo de caracterización del consumo.

### 2.2.3. Horarios y períodos de actividad

Los horarios, días y meses de actividad de cada establecimiento son datos valiosos y de fácil acceso. Como se detalla más adelante, permiten definir de manera sencilla los períodos esperados de consumo, fundamental para la detección de fugas y consumos indebidos.

En términos generales, para cada grupo se definen los diferentes períodos de actividad y actividad nula, tal como se resume en la Tabla 5.

Tabla 5. Períodos de actividad por grupo.

GRUPO	HORAS		DÍAS		MESES	
	CON actividad	SIN actividad	CON actividad	SIN actividad	CON actividad	SIN actividad
I	07:00 a 20:00	21:00 a 06:00	Lunes a Viernes	Sábados, Domingos y festivos	Enero a Julio. Septiembre a Diciembre	Agosto
II	06:00 a 01:00	02:00 a 05:00	Lunes a Domingos	-	Enero a Diciembre	-
III	08:00 a 02:00	03:00 a 07:00	Variable	Variable	Enero a Diciembre	-

#### 2.2.4. Servicios e instalaciones

Toda la información relacionada a los servicios prestados por cada tipo de usuario da indicios de los distintos usos del agua en cada establecimiento. Por esta razón, se completa esta recopilación de datos con detalles sobre sus instalaciones.

En el caso del Grupo I se registra la existencia de comedores, vestuarios, piscinas, sistemas de riego, etc. En hoteles interesa saber si cuentan con piscina, jacuzzi, servicio de lavandería, sistemas de riego, restaurante propio, etc. Finalmente, en los establecimientos de restauración se registra la superficie total abierta al público, incluyendo salón interior y terrazas habilitadas.

Por otra parte, se solicita a las empresas gestoras del servicio de agua datos relacionados a los contadores de cada abonado, tales como marca comercial, calibre, clase metrológica, fecha de instalación, entre otros.

#### 2.2.5. Otros datos

Cada tipo de usuario posee características particulares asociadas a la actividad desarrollada. Como ejemplo, los centros educativos, además de diferenciarse entre sí según el nivel de enseñanza, pueden clasificarse de acuerdo al régimen en públicos, privados o privados concertados. Respecto a los hoteles, también cuentan con una categorización definida por normativa que va de una a cinco estrellas.

Estos datos también han sido registrados para cada usuario, a fin de analizar si presentan cierta correlación con el consumo de agua.

## 2.3. Metodología

Una vez completada la recopilación de datos e información asociada a casa usuario se procede a estructurar el estudio en tres fases, descritas a continuación.

### 2.3.1. Fase 1: Análisis de calidad de los datos

Al trabajar con una base de datos masiva es fundamental garantizar una adecuada calidad de los mismos. La implementación de algoritmos de análisis, por más complejos que resulten, pierde total validez si la calidad de los datos de partida es mala. Por esta razón, se plantea una etapa previa de validación de datos combinando criterios matemáticos con el comportamiento esperado de cada usuario, a fin de lograr una correcta depuración de las lecturas de consumo recibidas, eliminando aquellas que puedan distorsionar los resultados.

Se confecciona un procedimiento para someter la base de datos a una serie de filtros que evalúan distintas características, propuestas por la normativa ISO/IEC (2019) 25012, y que, a los fines de este trabajo, son consideradas fundamentales para garantizar la calidad de los datos.

La metodología de evaluación propuesta tiene en cuenta una serie de aspectos propios de los usuarios, según el tipo de actividad desempeñada, por esta razón es necesario diferenciarlos por grupos, previo al análisis de calidad de los datos.

### 2.3.2. Fase 2: Caracterización del consumo

Concluida la etapa de depuración de los datos de consumo de agua, se selecciona una cantidad representativa de cada grupo de usuarios y se procede a identificar si existe cierta estacionalidad que defina su comportamiento. Para ello se confeccionan curvas de modulación diarias, semanales, trimestrales y anuales que, en una etapa posterior, podrían utilizarse para construir modelos de predicción de consumo y completamiento de datos faltantes.

Se analizan también los coeficientes de modulación, poniendo el foco en la distribución de los valores máximos que permiten obtener los caudales punta esperados por cada usuario.

Además, se calculan dotaciones representativas de cada grupo, combinando los volúmenes consumidos con otras variables. Para ello se analizan diferentes alternativas y finalmente se

seleccionan aquellas que, además de aportar resultados de utilidad, son más sencillas de obtener. Por ejemplo, se evalúa la factibilidad de calcular la dotación a partir de la cantidad de plazas o habitaciones en hoteles, considerando el aforo o la superficie de acceso público en establecimientos de restauración, etc.

Por otra parte, se propone la utilización de otros datos disponibles en la web para la monitorización del comportamiento de ciertos usuarios no residenciales, tales como establecimientos de restauración.

Por último, se plantea una metodología de análisis de los datos de consumo que permite identificar la distribución del volumen consumido por un usuario, en rangos de caudal, a fin de contrastar los rangos de caudales habituales con la capacidad metrológica de los contadores instalados.

### 2.3.3. Fase 3: Identificación de incidencias

La última etapa de este trabajo propone distintas técnicas que apuntan a la detección rápida y sencilla de incidencias mediante el uso de las pautas de consumo obtenidas y las metodologías de procesamiento de los datos propuestas en la fase de caracterización.

A modo de ejemplo se acompaña cada una de ellas con algunos casos concretos, mencionando finalmente otras posibles aplicaciones, que no son desarrolladas en este trabajo.

### 3. ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS DATOS

Con la transformación digital se ha incrementado la posibilidad de usar y reutilizar los datos en entornos más variados, aun habiendo sido definidos para un propósito específico. Esto obliga a redefinir la idea de calidad de los datos considerando una “adecuación a los usos”, es decir que debe ser adaptada a diferentes contextos de utilización (Cabellero Muñoz-Reja, et al., 2018). En la industrial del agua, los datos de consumo que originalmente se usaban sólo para generar las facturas de los abonados, hoy son empleados por las compañías como soporte para la gestión integral de la infraestructura y el servicio.

La *Data Management Association* establece que la calidad de datos se refiere a la planificación e implementación de técnicas de gestión de calidad para medir, acceder y mejorar la adecuación de los datos para su uso en una organización (DAMA, 2017).

El repositorio a analizar corresponde a la base de datos masiva extraída de los sistemas de información de los abastecimientos, conformada por las lecturas de consumo de los abonados seleccionados. Se trata de 290 usuarios no residenciales, de los cuales 164 cuentan con lecturas horarias durante 2 años en promedio. Esto representa alrededor de 2.830.000 datos, a lo que se le suman otros, tales como códigos asociados al usuario, fechas, unidades de medida, etc.

El conjunto en su totalidad cuenta con más de 3.650.000 datos que deben ser leídos, analizados y depurados, resultando esencial el empleo de herramientas informáticas para automatizar y agilizar estos procesos.

Cabe mencionar que la extracción de datos de los sistemas de información de las compañías que colaboraron con este trabajo se ha realizado en 3 etapas. En primera instancia se seleccionaron 101 usuarios, todos ellos con lecturas horarias, luego se amplió la muestra con una segunda extracción de datos de 63 usuarios, también con lecturas horarias, y finalmente se completó la base de datos con 126 usuarios con datos mensuales y trimestrales.

Se propone entonces un modelo para el evaluar la calidad de los datos. Aquellos que cumplen los criterios de calidad establecidos son utilizados para la confección de las pautas de consumo características de cada grupo.

### 3.1. Modelo de calidad propuesto

#### 3.1.1. Características a evaluar

Un modelo de calidad es un conjunto de características que permiten juzgar la calidad de un determinado repositorio de datos destinados a usos predeterminados.

Uno de los modelos más relevantes en estos días es el propuesto por la norma internacional ISO/IEC (2019) 25012 que enumera 15 características de calidad, señalando aquellas que son inherentes, es decir dependientes de la propia naturaleza de los datos, y aquellas que dependen del sistema de información en los que se encuentran almacenados, tal como muestra la Figura 7.

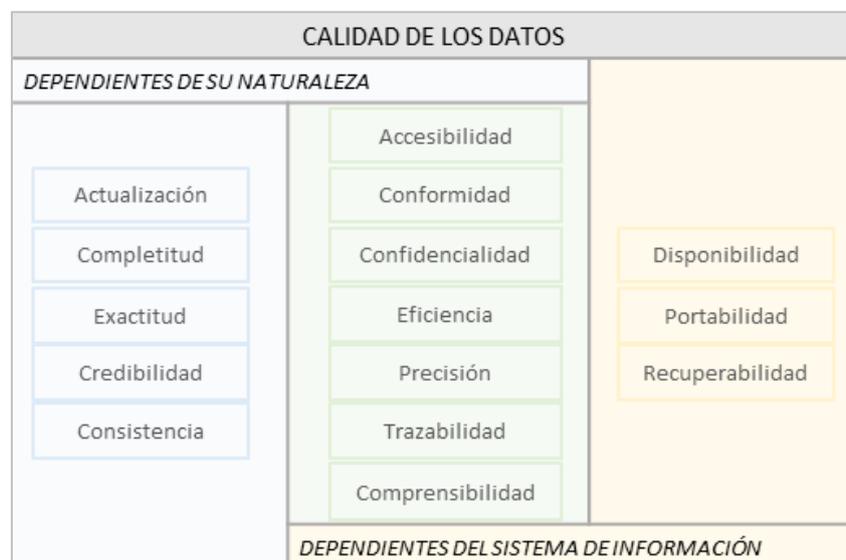


Figura 7. Características de Calidad de Datos. (ISO/IEC 25012, 2019)

Para este trabajo se considera fuera de alcance la evaluación de características dependientes de los sistemas de información propios de cada compañía, por lo que el modelo propuesto se centra sólo en las características inherentes.

A continuación, se detalla la definición de cada característica contemplada en este análisis, según normativa, y los criterios específicos de evaluación y aceptación para este caso en particular.

- **ACTUALIZACIÓN:** grado en el que los datos tienen atributos con la edad correcta en un contexto de uso específico.

Criterio de evaluación: se verifica la última fecha en que se registraron lecturas.

**Criterio de aceptación:** se considera suficiente si el usuario cuenta con lecturas hasta 6 meses anteriores a la extracción de datos.

- **COMPLETITUD:** grado en el que los datos tienen valores para todos los atributos esperados e instancias relacionadas en un contexto de uso específico.

**Criterio de evaluación:** depende de la periodicidad de las lecturas. En aquellos casos que sea posible (usuarios con lecturas horarias y diarias) se determina la cantidad de días con lectura por cada mes. En todos los casos, se verifica la cantidad de meses con lectura por año.

**Criterio de aceptación:** los datos de un usuario se consideran válidos si cuenta con al menos 12 meses de lectura ininterrumpida y (para usuarios con registros horarios y diarios) dichos meses tienen al menos 20 días de lecturas registradas.

- **EXACTITUD:** grado en el que los datos representan correctamente el verdadero valor del atributo deseado de un evento en un contexto de uso específico.

**Criterio de evaluación:** se analiza la existencia de lecturas de consumos extremos positivos aislados, que quedan fuera de un rango de consumo aceptable.

**Criterio de aceptación:** se consideran válidos aquellas lecturas que no superan en 10 veces su valor medio.

- **CREDIBILIDAD:** grado en el que los datos tienen atributos que se consideran ciertos y creíbles en un contexto de uso específico.

**Criterio de evaluación:** a partir de esta característica se evalúa la existencia de datos registrados con signo negativos.

**Criterio de aceptación:** bajo ninguna circunstancia pueden considerarse válidos consumos de agua menores a cero, no obstante, cabe mencionar que su existencia en los registros de consumo de agua puede deberse a una combinación de situaciones habituales en una instalación, tales como fallos en la válvula anti-retorno, oscilaciones de la presión interna, el uso de diferentes fuentes de suministro, etc. En este caso no se adopta un criterio de aceptación parcial y se descarta el 100% de los valores negativos.

- **CONSISTENCIA:** grado en el que los datos están libres de contradicción y son coherentes con otros datos en un contexto de uso específico.

*Criterio de evaluación:* para la evaluación de esta característica se analiza la compatibilidad entre el registro de consumos y los períodos de actividad preestablecidos para cada grupo de usuarios. Este análisis permite descartar aquellos casos donde se registran datos anómalos, que posteriormente son analizados para determinar si corresponden a fugas, consumos indebidos, etc.

*Criterio de aceptación:* durante los períodos de actividad se considera válido todo consumo mayor al 20% de su valor medio. Durante los períodos sin actividad se considera aceptable un registro de consumo nulo o menor al 20% de su valor medio.

### 3.1.2. Proceso de evaluación

Teniendo claras las características a evaluar y sus criterios de aceptación, se procede a confeccionar un esquema de evaluación, sin perder de vista que el propósito del mismo es obtener datos que reproduzcan con suficiente similitud el comportamiento real de los usuarios, para definir posteriormente pautas de consumo.

A cada característica a evaluar se le asocia una fase de evaluación o “filtro”. Algunos son aplicados sobre el conjunto y validan o descartan al usuario, y otros evalúan individualmente cada lectura registrada y validan o desechan un dato en particular.

En este punto, cabe mencionar que la rigurosidad con la que se define la aceptación de los datos ha sido ajustada, luego de aplicar el procedimiento reiteradas veces y analizar los resultados obtenidos para todo el conjunto.

Los pasos detallados en el procedimiento que muestra la Figura 8 se aplican a fin de establecer si la calidad de los registros de consumo es suficiente para considerar si un usuario es representativo de su grupo.

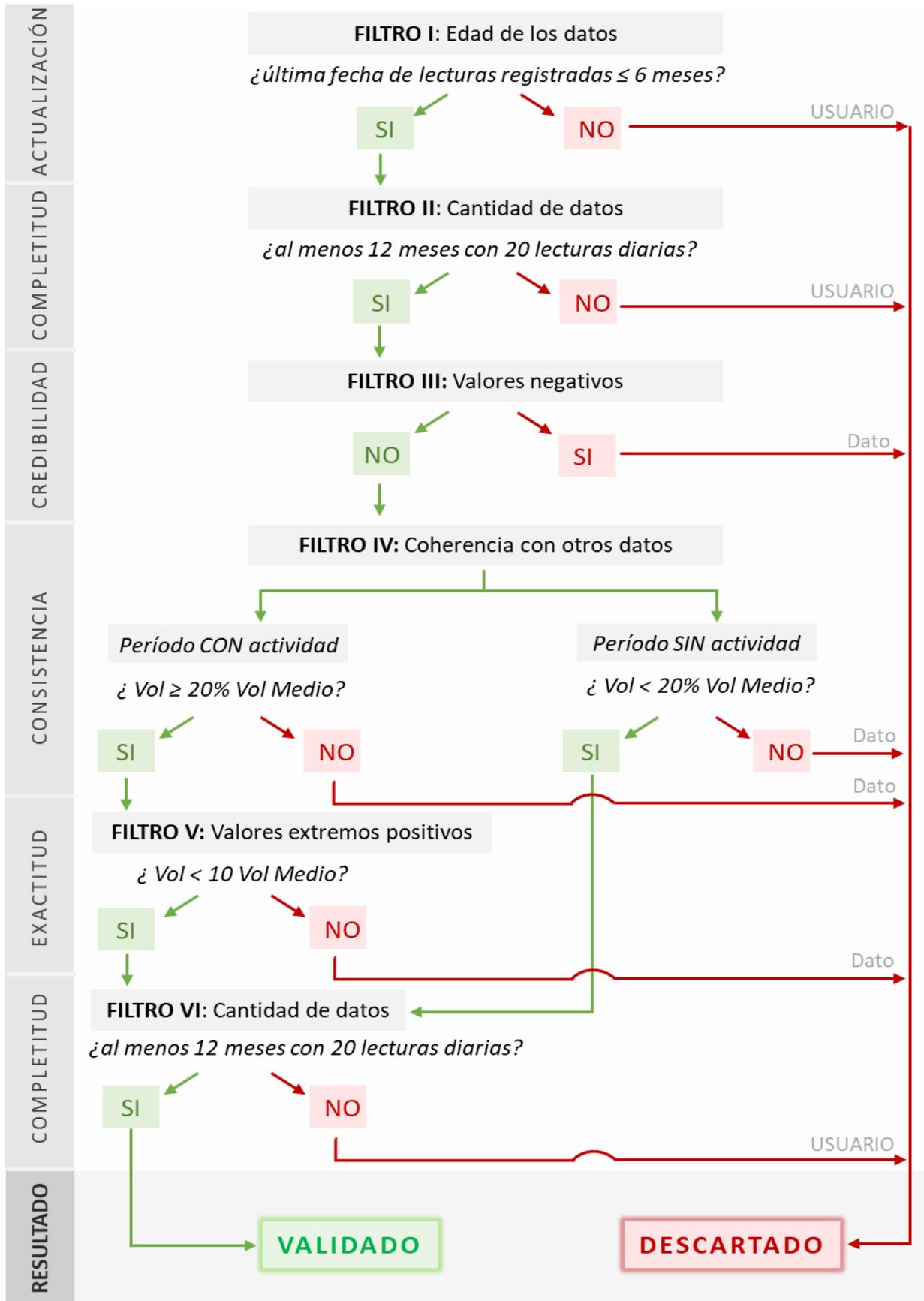


Figura 8. Proceso de evaluación de calidad de los datos.

La aplicación de los dos primeros filtros se realiza combinando tablas dinámicas con mapas de calor, ambas herramientas de Microsoft Excel, a fin de identificar el período completo con datos y al mismo tiempo la cantidad de días con lecturas por cada mes. De esta manera, el Filtro I tiene como objetivo validar sólo aquellos usuarios que cuenten con datos actualizados al menos en los últimos 6 meses anteriores a la extracción. El Filtro II hace una primera depuración de aquellos usuarios que no cuentan con una cantidad de datos suficientemente representativa para ser incluidos en la posterior confección de patrones de consumo. En ambos casos, se evalúan los datos de cada usuario en su conjunto y, si no se cumple el criterio de evaluación establecido, se descarta el usuario. Los que superan esta instancia continúan el proceso.

La siguiente etapa de depuración se aplica sobre los datos individualmente, si un dato no cumple con el criterio de análisis se elimina sólo ese dato. Esta instancia de análisis requiere la aplicación de diferentes reglas de evaluación sobre el mismo repositorio de datos. Por ello, se utiliza el lenguaje de macroinstrucciones de Microsoft Visual Basic para Aplicaciones (VBA) combinado a funciones y tablas dinámicas de Microsoft Excel para automatizar y agilizar el proceso de evaluación.

El primer ciclo programado corresponde al Filtro III que tiene como único fin identificar y descartar valores negativos.

Posteriormente, se verifica la coherencia de los volúmenes de agua registrados con los datos asociados a los períodos de actividad preestablecidos para cada usuario, según su grupo y categoría (Filtro IV). Este es quizás el ciclo de análisis más complejo en todo el proceso de evaluación, ya que combina los datos de consumo con información externa al sistema de información. Los períodos de actividad definidos deben ser compatibles a la periodicidad de las lecturas, es decir, los datos de consumo horario se comparan con las horas de actividad del usuario, los volúmenes totales diarios consumidos se confrontan con los días de actividad, y lo mismo en el caso de los valores mensuales. El criterio de evaluación en esta fase consiste en validar aquellos períodos con datos de consumo que guardan relación con el tipo de actividad desarrollada. Por ejemplo, dentro del Grupo I es de esperar que, durante las horas nocturnas, fines de semana, festivos y el mes de agosto, los consumos sean prácticamente nulos. En contraposición, durante las horas, días y meses lectivos deben registrarse volúmenes

de consumo distintos a cero. Si se verifica que no se cumplen estas premisas, se descarta sólo ese período de datos.

Los datos correspondientes a períodos sin actividad que superan el Filtro IV pasan directamente a ser evaluados por el Filtro VI mientras que los datos de períodos con actividad pasan previamente por el Filtro V, cuyo fin es descartar valores extremos atípicos que puedan distorsionar las pautas de consumo confeccionadas en la etapa posterior.

Finalizada esta instancia se aplica el Filtro VI, que utiliza los mismos criterios que el Filtro II y vuelve a evaluar el repositorio en su conjunto. Identifica la cantidad de datos de cada usuario que han logrado superar todas las instancias previas de evaluación. Si no cumple las condiciones de aceptación del conjunto, se elimina el usuario completo. Así, los usuarios que cuentan con suficientes datos reciben la validación final y son usados para la confección de las curvas de modulación, el cálculo de dotaciones características, y demás elementos propuestos para caracterizar el grupo al que pertenecen.

## **3.2. Resultados**

### **3.2.1. FILTROS I y II: Edad de los datos y completitud**

Los criterios de evaluación en esta etapa consisten en identificar la última fecha de actualización de los datos, la cantidad y continuidad de los mismos a lo largo del período registrado.

Respecto a la edad de los datos (Filtro I), existen algunos usuarios con datos desde el año 2015, otros desde 2016, aunque la mayoría comienza en 2017. En el 100% de los casos se verifica que los registros cuentan con lecturas actualizadas a menos de seis meses respecto a la fecha de cada extracción de los distintos sistemas de información.

En cuanto a la cantidad de datos (Filtro II), en la Figura 9 se pueden observar a modo de ejemplo parte de los resultados obtenidos, para 15 usuarios de cada grupo. Se muestra la cantidad de días por mes con lecturas de consumo, indicando en color verde aquellos meses que superan los 20 días de registro y en rojo los que no cumplen ese criterio.



En resumen, los usuarios que no llegan a tener 12 meses consecutivos con al menos 20 días de lectura, indicados en amarillo y rojo en esta última columna, no pasan el Filtro II y son descartados. Los que superan esta instancia pasan a la siguiente etapa de evaluación.

Cabe aclarar que, para aquellos usuarios que pasan el Filtro II sólo se mantienen los meses con 20 días de lectura o más, el resto de meses queda descartado.

Analizando los resultados del Filtro II por grupo de estudio, tal como muestran la Tabla 6 y la Figura 10, se concluye que 30 centros educativos del Grupo I (14%) deben ser descartados, mientras que otros 182 son validados. Del Grupo II se descartan 5 hoteles (13%) por no tener cantidad suficiente de datos, y se validan los 33 restantes. Finalmente, del Grupo III quedan descartados 4 establecimientos de restauración (10%) mientras que 36 usuarios pasan a la siguiente etapa de evaluación.

Tabla 6. Resultados por grupos del Filtro II.

GRUPO	CANTIDAD TOTAL DE USUARIOS	RESULTADOS FILTRO II			
		VALIDADOS		DESCARTADOS	
I	212	182	86%	30	14%
II	38	33	87%	5	13%
III	40	36	90%	4	10%

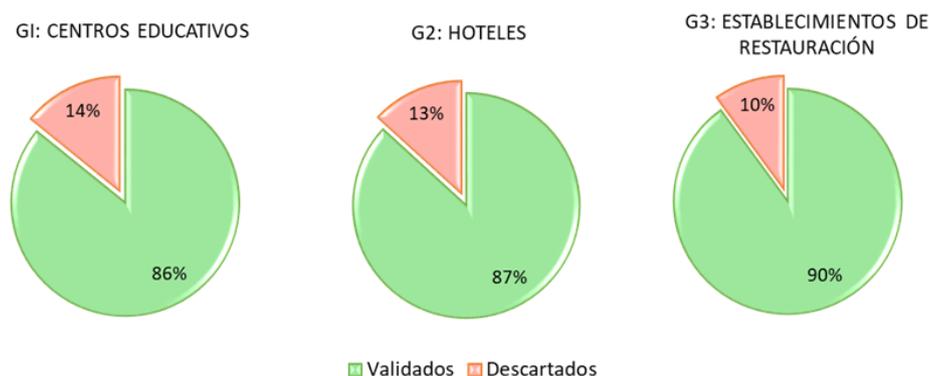


Figura 10. Porcentaje de usuarios validados y descartados por el Filtro II.

### 3.2.2. FILTRO III, IV y V: Credibilidad, consistencia y exactitud

Tal como se comenta anteriormente, en esta instancia de evaluación se validan o descartan datos de manera independiente, en ningún caso se elimina un usuario, a menos que los filtros aplicados descarten el 100% de los datos del mismo.

En primer lugar, se evalúa la existencia de datos con signo negativo (Filtro III). Tratándose de lecturas de consumo de agua, bajo ninguna circunstancia puede considerarse cierto un valor menor a cero. Por esta razón se elimina el 100% de valores negativos encontrados. En el caso de usuarios con lecturas horarias el criterio de análisis se basa en identificar dentro de los 24 valores diarios almacenados aquellos que tengan signo negativo. Si un día cuenta con al menos una lectura horaria menor que cero se descarta el día completo.

Una vez identificados y descartados los negativos, se analiza la consistencia de los datos (Filtro IV) cotejando los volúmenes de consumo registrados con los períodos de actividad definidos para cada categoría. Finalmente, se toman los datos validados de los períodos con actividad, y se verifica la existencia de valores extremos atípicos (Filtro V).

Tal como muestra la Figura 11, la principal razón por la que se descartan datos es la inconsistencia de los mismos (FIV). Esto se refiere a que en reiteradas ocasiones no existe coherencia entre el volumen de agua registrado y las horas, días o meses habituales de actividad del usuario.

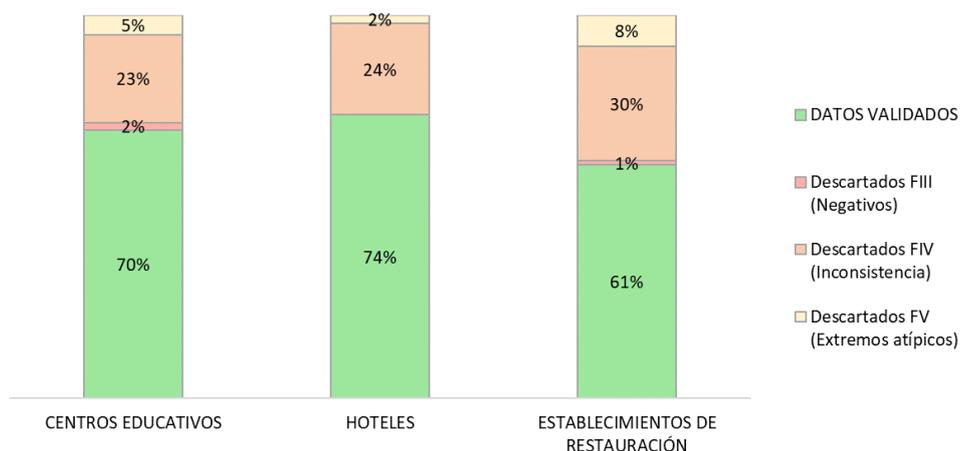


Figura 11. Porcentaje de datos validados y descartados por los Filtros III, IV y V.

Esta contradicción puede presentarse por diferentes situaciones que son detalladas más adelante, en el apartado de “Identificación de Incidencias” pero vale la pena comentarlas.

Una de las situaciones más frecuentes de incoherencia en los datos es el registro de consumo en horas o días sin actividad, por ejemplo, durante horas nocturnas y fines de semana o festivos para el caso de centros educativos. Esto puede reflejar la existencia de fugas o consumos indebidos.

Otra situación encontrada en los datos analizados es el registro de lecturas nulas durante períodos donde se espera mayor actividad, por ejemplo, en hoteles durante los meses de temporada alta. En este caso, las razones pueden ir desde fallos o fraude asociados a la tecnología de medición instalada, hasta usuarios que ya no desempeñan la actividad, y cuya situación no han sido registrada en el sistema. Este último caso obliga a ajustar las conclusiones respecto a la evaluación de la característica “Actualización” de los datos ya que, aunque el registro de las lecturas se encuentra al día, otra información vinculada al abonado aún no ha sido actualizada.

Finalmente, un caso menos habitual pero que también queda a la vista a partir del análisis de consistencia de los datos, se trata de usuarios que en primera instancia son identificados como parte de los grupos de interés y clasificados dentro de alguna de las categorías contempladas en este trabajo pero que, al juzgar por sus períodos de consumo más frecuentes, se trata de otro tipo de actividad. Tal es el caso, de ciertos usuarios del Grupo I clasificados como escuelas infantiles, que muestran un consumo habitual en horarios incompatibles a la categoría, entre las 18:00 horas y las 00:00 horas, por ejemplo, tratándose quizás de otra actividad comercial. Con esto queda de manifiesto la dificultad que representa la identificación de determinado tipo de usuarios dentro del sistema de información de algunas compañías.

En la Figura 12 se puede observar la distribución de los casos comentados, del total de datos descartados por inconsistencia queda claro que la mayor causa se debe al registro de volúmenes consumidos durante períodos sin actividad, tratándose en general de las horas nocturnas.

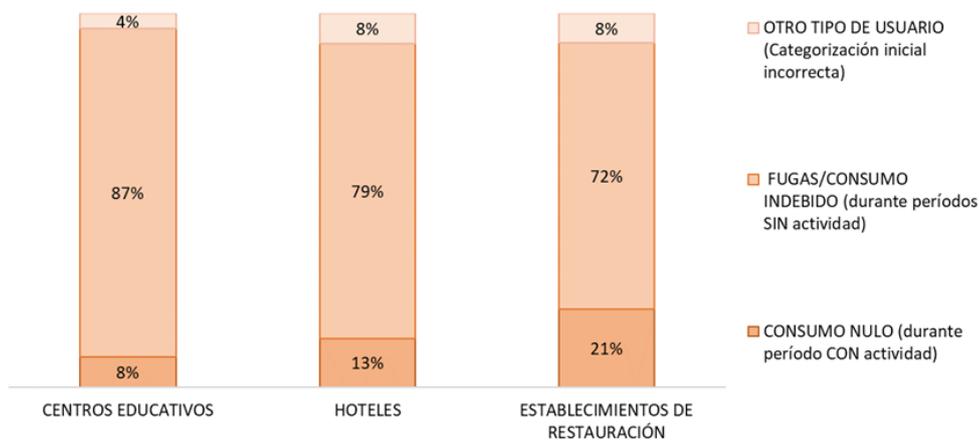


Figura 12. Causas de inconsistencia en los datos (Filtro IV).

### 3.2.3. FILTRO VI: Cantidad de datos por usuario

En la etapa anterior sólo se descartan datos que no cumplen los criterios de calidad establecidos por los Filtros III, IV y V. En la siguiente fase de análisis es necesario contar la cantidad de datos diarios, mensuales y anuales que finalmente tiene cada usuario, aplicando para su aceptación el mismo criterio utilizado en el Filtro II, esto es, validando sólo aquellos que cuenten con al menos 20 días de lecturas durante 12 meses consecutivos.

La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos y la Figura 13 los porcentajes de validación y descarte respecto a la cantidad de usuarios que llegan a esta instancia de evaluación, habiendo sido validados por el Filtro II.

Tabla 7. Resultados por grupos del Filtro VI.

GRUPO	CANTIDAD TOTAL DE USUARIOS (Validados por FII)	RESULTADOS FILTRO VI			
		VALIDADOS		DESCARTADOS	
I	182	138	76%	44	24%
II	33	18	55%	15	45%
III	36	21	58%	15	42%

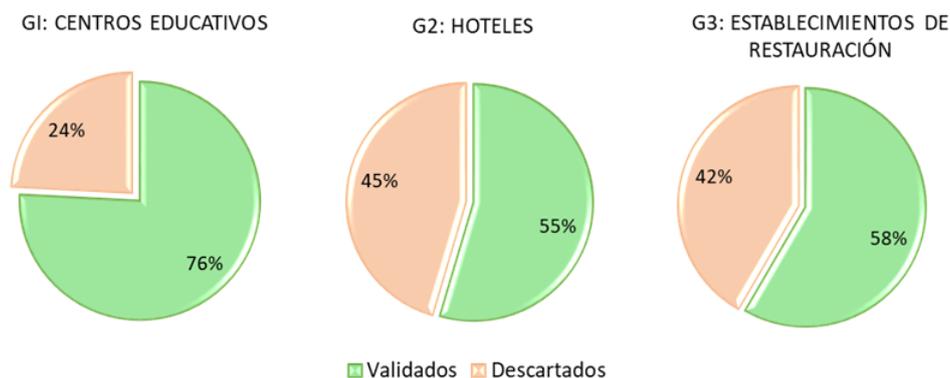


Figura 13. Porcentaje de usuarios validados y descartados por el Filtro VI.

### 3.2.4. Resultados Globales

Los usuarios que finalmente superan todas las instancias de evaluación y se consideran adecuados para la confección de las pautas de consumo de cada grupo, se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados finales por grupo.

GRUPO	Cantidad Total de Usuarios	Descartados Filtro II	Descartados Filtro VI	USUARIOS DESCARTADOS	USUARIOS VALIDADOS
I	212	30	44	74	138
II	38	5	15	20	18
III	40	4	15	19	21

Como es evidente, la cantidad de usuarios del Grupo 1, tanto en la muestra inicial como en la finalmente validada, resulta mayor que los otros dos grupos, pero cabe mencionar que, de los 138 usuarios validados sólo 26 disponen de datos de consumo horarios, el resto cuenta con lecturas mensuales y trimestrales.

Respecto al Grupo 2 y 3, que en promedio alcanzan una validación del 50% de la cantidad inicial de usuarios, cuentan en su totalidad con datos horarios, lo que permitirá confeccionar curvas de modulación más robustas y con mayor precisión.

En la Figura 14 se muestran los mismos resultados, pero en valores porcentuales. En todos los casos se observa que el Filtro VI genera el mayor porcentaje de descartes, tal como se

mencionó con anterioridad, debido al volumen de datos desechados en las etapas de evaluación previas, principalmente por la falta de consistencia.

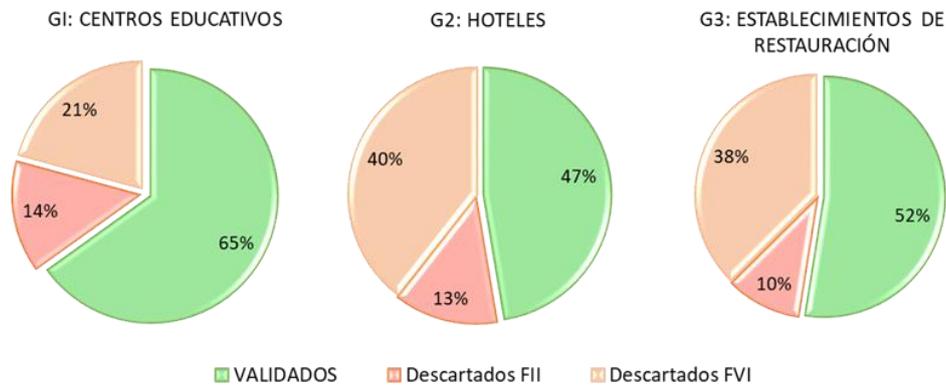


Figura 14. Porcentaje total de usuarios validados y descartados.

Haciendo una valoración global sobre las características evaluadas, puntuando con 5 si más del 95% del repositorio analizado supera el criterio de calidad que la define y con 1 si menos del 20% logra superarlo, se obtienen los resultados expuestos en la Figura 15.

Respecto a la actualización de los datos, si bien al aplicar el Filtro I las conclusiones apuntan a una valoración de 5, posteriormente, al evaluar la consistencia de los mismos queda a la vista la falta de actualización de otros datos que también conforman el repositorio, directamente relacionados a las lecturas de consumo, como es el caso de ciertos usuarios del Grupo 2, de los que se continúa tomando lecturas a pesar de que los hoteles han cerrado. Si bien puede que el usuario no haya solicitado la baja del servicio y se deba continuar con el registro de lecturas, sería conveniente incluir al menos un comentario para que mantenga actualizada la base de datos, y permita explicar los consumos nulos permanentes. De no contar con ese detalle, al procesar los datos registrados, se identificaría una incidencia que en realidad no existe. Por esta razón, pero teniendo en cuenta que se trata de casos puntuales, se ajusta la valoración a 4.5.

En cuanto a la exactitud y credibilidad, características mediante las que se verifica la existencia de valores extremos y negativos, se concluye que en términos generales el 80% de la base de datos cumple los criterios de calidad establecidos por las mismas, logrando una valoración de 4.0, mientras que la completitud, que relaciona la cantidad de datos disponibles con los

requeridos, y la consistencia, que evalúa la compatibilidad o coherencia con otros datos, son las principales debilidades del repositorio analizado, logrando validar el 70% y 60% del repositorio, respectivamente.

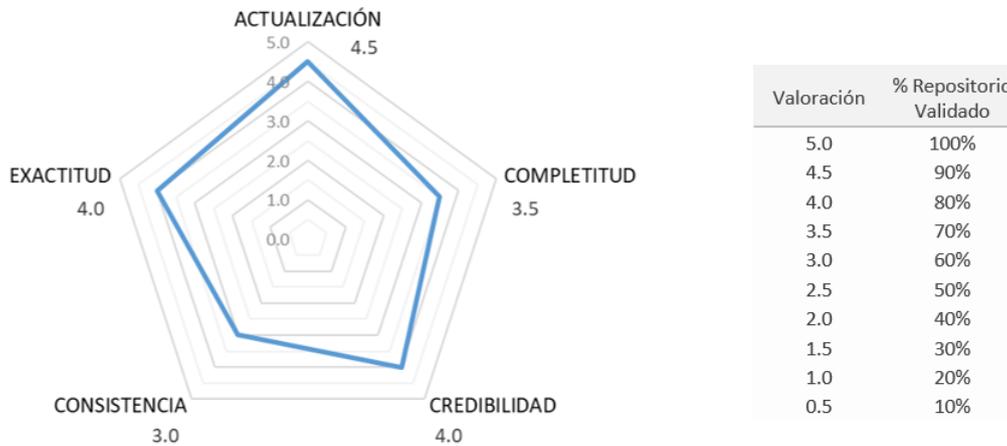


Figura 15. Valoración global de las características evaluadas.

En el Anexo I de este trabajo se encuentran otras alternativas de visualización de los resultados, acompañadas de breves comentarios.

### 3.3. Otras características

Al comenzar este capítulo se mencionan otras características vinculadas a la calidad de los datos, definidas por la norma internacional ISO/IEC (2019) 25012, que dependen del sistema de información donde se almacenan los mismos. Si bien su evaluación queda fuera del alcance del trabajo resulta interesante mencionar algunos aspectos relacionados a las mismas, luego de citar la definición propuesta por la normativa.

- **COMPRESIBILIDAD:** grado en que los datos tienen atributos que permiten su lectura e interpretación, y están expresados en unidades apropiadas en un contexto específico de uso.

En algunos de los sistemas de información las extracciones de las lecturas no se acompañan automáticamente de sus respectivas unidades de medida. En otros casos, las unidades de medida no resultan homogéneas, es decir, varían entre litros, metros cúbicos y hectómetros cúbicos de un usuario a otro. Esto representa una dificultad a la hora de procesar un conjunto de datos que puede llevar a errores en el análisis o interpretaciones equivocadas.

- *DISPONIBILIDAD*: grado en que los datos pueden ser recuperados por usuarios y/o autorizados en un contexto específico de uso.

En ocasiones, la extensa lista de abonados que constituyen un sistema de telelecturas no cuentan con ningún tipo de clasificación respecto al tipo de usuario. Por otra parte, en algunos casos los usuarios deben ser rastreados a partir de datos compartidos con otros abonados, por ejemplo, la dirección del inmueble, dando lugar a errores de interpretación.

Ambas situaciones suponen una gran dificultad a superar para lograr una correcta discriminación de los datos para su posterior análisis.

## **4. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO**

El desarrollo del presente capítulo representa parte esencial de este trabajo. Su contenido detalla la obtención de los elementos fundamentales para completar la fase final propuesta, de identificación de incidencias sobre los registros de consumo.

La etapa de caracterización tiene como objetivo principal definir pautas que representen adecuadamente el comportamiento de los distintos usuarios no residenciales seleccionados para este proyecto, para luego compararlas con las lecturas de consumo registradas periódicamente por las compañías gestoras y poder identificar anomalías o incidencias, tales como, fugas, consumos indebidos, fallos o fraude en los equipos de medición.

En primer lugar, se describen las pautas o patrones propuestos y las consideraciones generales para su elaboración. Luego se muestran los resultados obtenidos para cada grupo de estudio, acompañados de algunos comentarios y aclaraciones.

Finalmente, se propone una metodología para analizar la distribución del volumen diario consumido, identificando los rangos de caudal habituales de cada usuario.

### **4.1. Pautas de consumo propuestas**

#### **4.1.1. Curvas de modulación**

La demanda de agua en sistema de distribución es inherentemente inestable a lo largo del tiempo. Si se mide esta variación a lo largo de un período suficientemente extenso, en ocasiones es posible obtener una modulación característica que se acerque a la dinámica real del consumo. Este elemento resulta de gran utilidad para la confección de modelos de simulación de las redes de abastecimiento.

La curva característica o curva de modulación de consumo describe la fluctuación de la demanda de agua alrededor de su valor medio. Por esto, los coeficientes que la describen resultan adimensionales. En general, suelen representarse para un período de 24 horas, pero también resulta de utilidad confeccionarlas a escala mensual y anual. Una curva de modulación diaria indica, para cada hora, el coeficiente por el que debe multiplicarse el consumo medio horario, para obtener el consumo en el instante de tiempo considerado. Representa una herramienta esencial para entender el comportamiento real de los usuarios conectados a una red y dar soporte a la gestión diaria del servicio, brindando información

sobre la magnitud de caudales máximos y mínimos, horas punta o de mayor consumo, y horas valle o de consumo mínimo.

Existen diversos factores que intervienen en la variabilidad propia de estas curvas, entre los que se puede mencionar el tipo de uso, el nivel socioeconómico y los hábitos de consumo de la población. Por otra parte, existe una variación temporal, asociada a las distintas épocas del año y sus características climáticas. Por ejemplo, la demanda de agua diaria no es la misma durante un fin de semana que para un día laboral, como tampoco es igual para un día de verano y uno de invierno.

La caracterización del consumo residencial dispone de cuantiosos estudios realizados por especialistas. Por mencionar algunos de los más relevantes, Bowen, Harp, Baxter y Shull (1993) confeccionaron curvas que fueron utilizadas como punto de partida para definir patrones de consumo residencial en Estados Unidos, recopilando datos de usuarios residenciales individuales y multifamiliares en distintas ciudades del país. Otros como Buchberger, Wu y Wells (1995 y 1996) desarrollaron un modelo estocástico que validaron recopilando numerosos datos sobre usuarios residenciales individuales.

Como se ha mencionado en el capítulo introductorio de este trabajo, dentro del ámbito urbano, aún no se cuenta con suficiente información asociada al comportamiento de usuarios no domésticos. Por ello, se propone la confección de curvas de modulación para cada categoría que conforma los tres grupos en estudio, aprovechando los datos de consumo proporcionados por las compañías gestoras, luego de someterlos a la exhaustiva evaluación de calidad detallada con anterioridad.

Todas las curvas propuestas muestran los coeficientes de modulación promedio y los valores correspondientes a un intervalo de confianza del 90%, definido entre los percentiles 5 y 95, es decir, el rango dentro del cual se encuentra el 90% de los valores de la muestra, excluyendo el 5% de valores extremos tanto mínimos como máximos.

Como ejemplo de esto se muestra la Figura 16 donde se puede observar la distribución normal correspondiente al consumo de agua, en litros por día, registrado en hoteles.

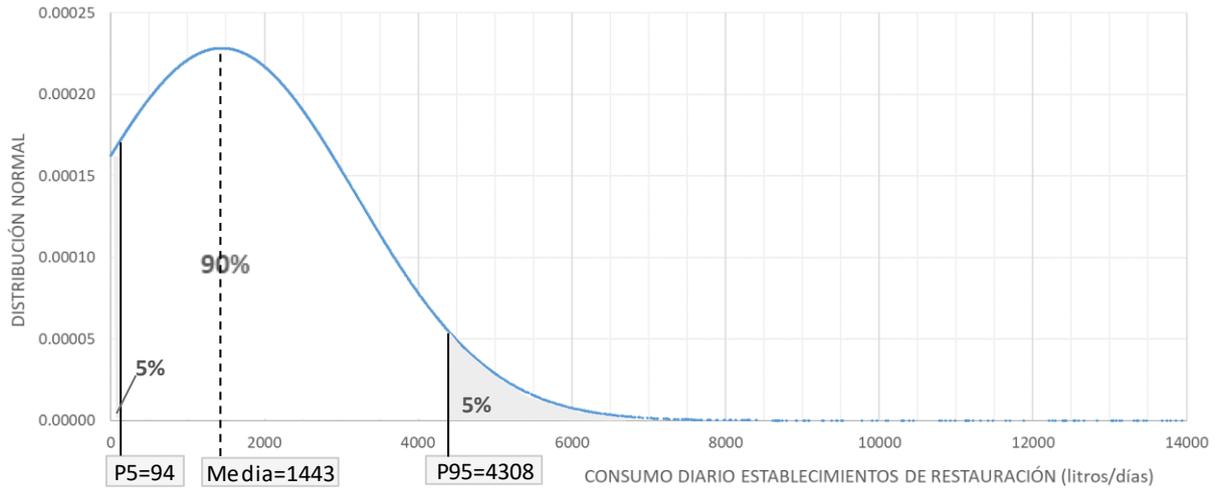


Figura 16. Distribución normal del consumo diario en establecimientos de restauración.

Para la confección de las curvas, se calculan en primer lugar los coeficientes de modulación para cada usuario, y luego se obtienen los valores promedios y de los percentiles 95 y 5.

Los respectivos coeficientes se obtienen como se indica a continuación:

Curva de Modulación Anual: empleando datos de consumo trimestrales o mensuales.

$$C_{t_i} = \frac{Vol_{t_i}}{Vol_t} [adim] \quad (1)$$

Donde:

i: de 1 a 4

$C_{t_i}$ : coeficiente del trimestre i

$Vol_{t_i}$ : volumen registrado durante el trimestre i

$Vol_t$ : volumen medio trimestral para todo el período con lecturas

$$C_{m_i} = \frac{Vol_{m_i}}{Vol_m} [adim] \quad (2)$$

Donde:

i: de enero a diciembre

$C_{m_i}$ : coeficiente del mes i

$Vol_{m_i}$ : volumen registrado durante el mes i

$Vol_m$ : volumen medio mensual para todo el período con lecturas

Curva de Modulación Semanal: empleando datos de consumo diarios.

$$C_{d_i} = \frac{Vol_{d_i}}{Vol_d} [adim] \quad (3)$$

Donde:

i: de lunes a viernes

$C_{di}$ : coeficiente del día i

$Vol_{di}$ : volumen registrado durante el día i

$Vol_d$ : volumen medio diario para todo el período con lecturas

Curva de Modulación Diaria: empleando datos de consumo horarios.

$$C_{hi} = \frac{Vol_{hi}}{Vol_h} [adim] \quad (4)$$

Donde:

i: de 1 a 24

$C_{hi}$ : coeficiente de la hora i

$Vol_{hi}$ : volumen registrado durante la hora i

$Vol_h$ : volumen medio horario para todo el período con lecturas

#### 4.1.2. Dotaciones

Se entiende por dotación la cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda de una población durante un determinado período de tiempo. Considera todos los usos del recurso que pueden darse en un contexto determinado. En general, se expresa en litros por persona y día, y no se trata de una cantidad fija, ya que depende de innumerables factores que la convierten en una característica propia de cada población.

A escala poblacional, la disponibilidad de valores aproximados de la dotación de agua resulta fundamental a la hora de proyectar una red de abastecimiento o proponer alternativas para su optimización. En un entorno más individualizado, considerando por ejemplo un sector o un usuario en particular, permite ajustar desde el dimensionado de determinados tramos de red, su acometida hasta las instalaciones interiores. En cuanto al uso de esta información en las tareas operativas llevadas a cabo por los abastecimientos, su importancia radica en que es el punto de partida para una adecuada gestión de la demanda.

Como en el caso de las curvas de modulación, en el ámbito residencial existe una amplia gama de investigaciones que han definido rangos de dotaciones características, y que actualmente son aceptados y aplicados por los proyectistas de obras hidráulicas urbanas. Sin embargo, para

el caso de usuarios no residenciales, y específicamente los seleccionados para este estudio, se cuenta con apenas algunas referencias, que proponen rangos de valores muy amplios.

En el apartado siguiente, dentro de la discusión de resultados correspondientes a cada grupo, se mencionan valores propuestos por algunos especialistas, a fin de compararlos con los obtenidos en este trabajo.

Es importante tener en cuenta que los valores de dotaciones deben ser interpretados como una simple referencia que da una idea aproximada del consumo real de un usuario o una población determinada. Los especialistas que hacen uso de este tipo de información conocen las limitaciones y posible variabilidad en cada caso en particular. Es un error tomar este tipo de datos como un valor exacto, y basar rigurosamente las decisiones en el mismo.

Por otra parte, es importante establecer las unidades a emplear, ya que dependiendo del contexto en que se utilicen, no siempre es apropiado expresar el volumen de agua en función de la cantidad de personas. En este punto, cabe mencionar que se evalúa la factibilidad de cálculo de la dotación a partir de diferentes variables, seleccionando aquellas que finalmente, además de dar resultados de utilidad, sean más sencillas de obtener.

Para centros educativos se analiza el uso de la cantidad de aulas o alumnos, optando por ésta última por ser un dato comúnmente publicado por las Concellerías de cada Comunidad Autónoma. Algo similar sucede para hoteles ya que, entre la cantidad de habitaciones y plazas disponibles, se elige la cantidad de plazas luego de verificar que generalmente se encuentran disponibles en la web de oficinas de estadísticas de diversas Comunidades Autónomas.

Respecto a los establecimientos de restauración, en primera instancia se considera que la cantidad de personas o aforo, puede ser la variable adecuada para el cálculo de dotaciones, ya que en general es un valor incluido en los registros de habilitación de cada local. Sin embargo, tal como se explica para el caso de hoteles, utilizar sólo el aforo del establecimiento supone considerarlo al 100% de su capacidad arrojando valores que no reflejan la realidad adecuadamente, a menos que, se afecte el cálculo por el grado de ocupación. Este dato, a diferencia del Grupo II, es propio de cada local, y a su vez, puede resultar o no variable a lo largo del tiempo. Por todo esto, su determinación resulta inviable y definir una dotación en función de la cantidad de personas carecería de representatividad. Se estudian entonces otras alternativas, seleccionando finalmente la superficie de acceso público. Si bien, no es un dato

sencillo de obtener ya que en general no se encuentra disponible en páginas webs oficiales o propias de cada establecimiento, es un valor relativamente invariable que puede arrojar dotaciones de referencia. Para su obtención se hace un exhaustivo trabajo de inspección, definiendo el área de uso público de cada uno de los locales intervinientes en el análisis. En algunos casos puntuales, donde por diferentes razones no se es posible visitar las instalaciones, se realiza una estimación de la superficie a partir de fotografías del lugar e imágenes satelitales.

Dicho esto, la determinación de las dotaciones para las distintas categorías incluidas en este trabajo pretende dar valores de referencia para cada caso, determinando no sólo un valor medio característico sino del rango de variación del mismo.

Para cada grupo se propone el siguiente cálculo:

Grupo I (Centros Educativos): dotación expresada en litros por alumno y día.

$$DOT_{CE} = \frac{Vol_{di}}{N^{\circ} \text{ alumnos}} = \left[ \frac{\text{litros}}{\text{alumno. día}} \right] \quad (5)$$

Donde:

DOT<sub>CE</sub>: Dotación en centros educativos

Vol<sub>di</sub>: Volumen de agua diario, registrado durante días lectivos

Nº alumnos: cantidad de puestos habilitados en ese centro

Grupo II (Hoteles): dotación expresada en litros por persona y día.

$$DOT_H = \frac{Vol_d}{N^{\circ} \text{ plazas}} \times GO = \left[ \frac{\text{litros}}{\text{persona. día}} \right] \quad (6)$$

Donde:

DOT<sub>H</sub>: Dotación en hoteles

Vol<sub>d</sub>: Volumen de agua registrado por día

Nº plazas: cantidad de plazas disponibles en el establecimiento

GO: grado de ocupación hotelera

Grupo III (Establecimientos de restauración): expresada en litros por metro cuadrado y día.

$$DOT_R = \frac{Vol_d}{Sup} = \left[ \frac{\text{litros}}{m^2 \cdot \text{día}} \right] \quad (7)$$

Donde:

$DOT_R$ : Dotación en establecimientos de restauración

$Vol_d$ : Volumen de agua registrado por día

$Sup$ : superficie de uso público, incluyendo salón y terraza habilitada. No contempla cocina y sector de aseos.

#### 4.1.3. Distribución de coeficientes máximos horarios

Entre todos los coeficientes que definen la variación en el consumo de agua dentro de una curva de modulación, aquellos valores máximos resultan de mayor interés para la gestión de los abastecimientos, ya que permiten conocer las demandas máximas a cubrir, el momento de su ocurrencia y su duración.

En general, valores extremos de consumo están asociados a una probabilidad de ocurrencia menor, y tomarlos como referencia tanto para el dimensionado como para la operación de la red podría conducir a errores significativos. Por esta razón, además del valor alcanzado por estos coeficientes punta, que dan magnitud de los volúmenes máximos consumidos, es interesante conocer la frecuencia con que éstos ocurren.

En este caso se analiza la distribución de coeficientes máximos horarios, pero la misma metodología puede emplearse sobre los valores semanales y mensuales. De este modo, se toma de cada día con registro de consumo, el promedio entre los dos coeficientes máximos de modulación horaria, para todos los usuarios de una misma categoría, se los agrupa por rangos (de 1,0 a 1,9 - de 2,0 a 2,9 - de 3,0 a 3,9 - etc.) y se calcula el porcentaje de aparición de cada uno de ellos.

## 4.2. Resultados por Grupos

A continuación, se exponen los resultados más relevantes obtenidos en la caracterización de los consumos de agua de cada grupo de usuarios no residenciales.

En el Anexo II se pueden encontrar resultados adicionales de cada categoría, como así también el análisis de algunos casos específicos que ilustra la caracterización de determinados usuarios.

#### 4.2.1. GRUPO I: Centros Educativos

##### 4.2.1.1. Escuelas Infantiles

La primera categoría del Grupo I está conformada por centros destinados a la educación preescolar de 0 a 6 años, conocidas como escuelas infantiles o guarderías.

La muestra utilizada para la confección de las pautas de consumo está constituida por 46 centros, 30 de ellos de titularidad privada y 16 públicos. Los resultados presentados a continuación son representativos de ambos casos, ya que no se identificaron diferencias relevantes que justifiquen mostrarlos por separado.

Como se observa en la Figura 17, los rangos de valores superiores e inferiores que acompaña cada curva de modulación promedio tienen como límite al percentil 5 y percentil 95. Es decir, dentro del área mostrada en cada figura se ubica el 90% de los valores de la muestra.

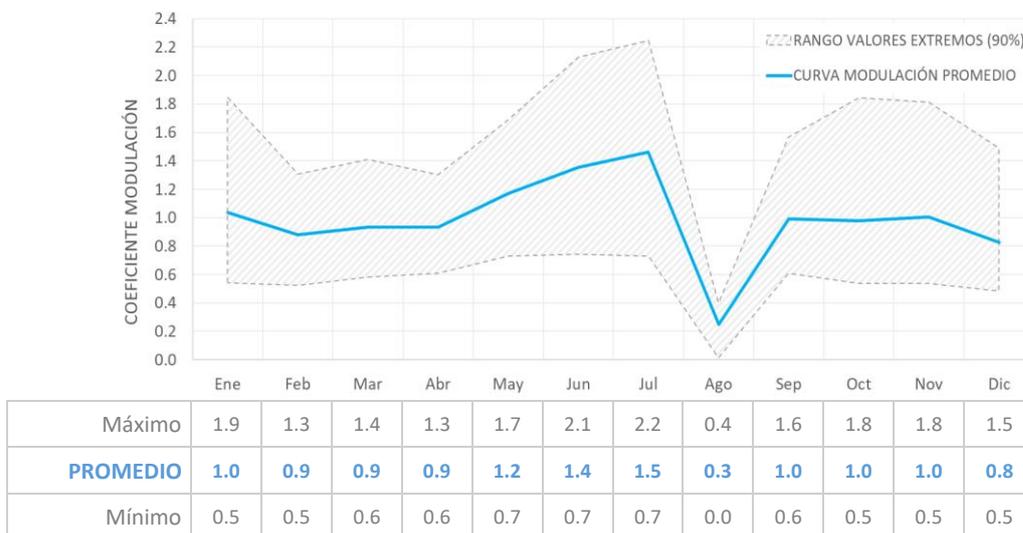


Figura 17. Curva de Modulación Anual ESCUELAS INFANTILES.

Cabe aclarar que la curva de modulación semanal de la Figura 18 se confecciona utilizando sólo datos de los meses lectivos, quedando excluido el mes de agosto.

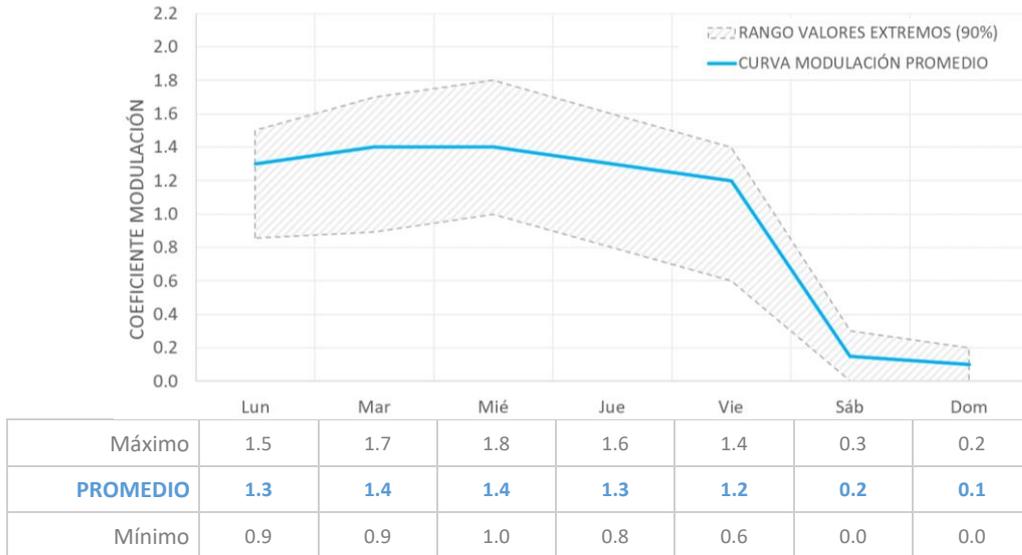


Figura 18. Curva de Modulación Semanal ESCUELAS INFANTILES.

Con el mismo criterio, la Figura 19 muestra la curva de modulación diaria y la Figura 20 la distribución de coeficientes máximos horarios, representativas sólo de días lectivos, esto es de lunes a viernes, exceptuando festivos.

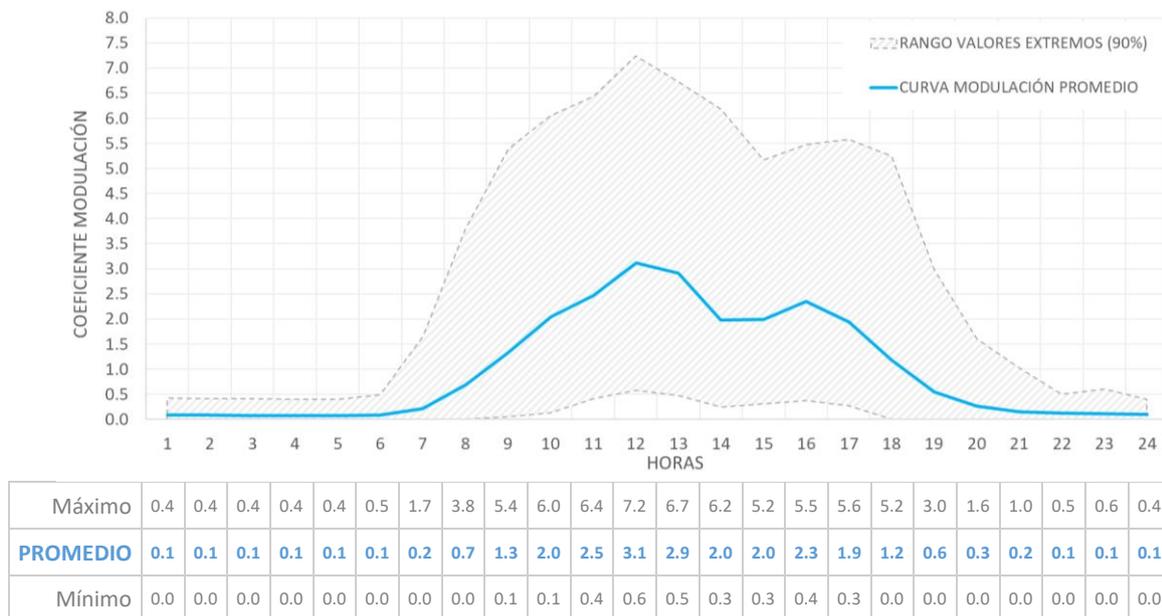


Figura 19. Curva de Modulación Diaria ESCUELAS INFANTILES.

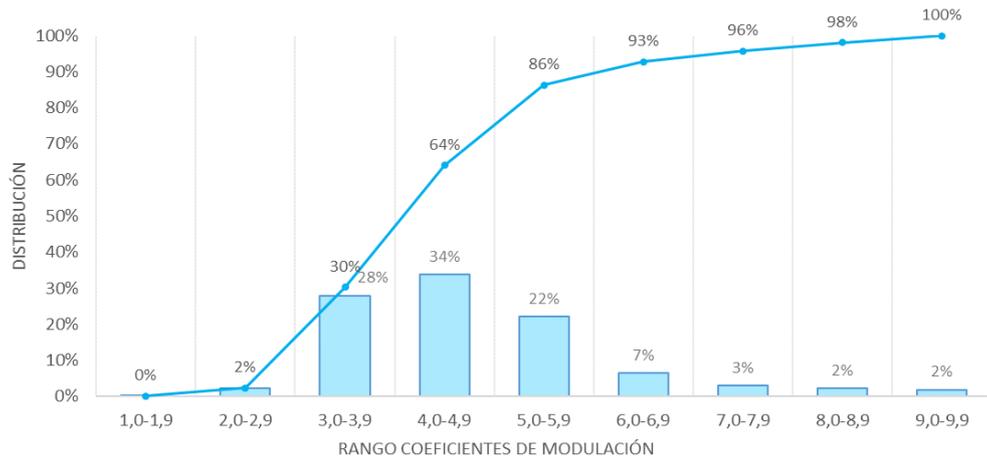


Figura 20. Distribución de coeficientes de modulación máximos horarios ESCUELAS INFANTILES.

En cuanto a la dotación, se obtiene un valor medio para días lectivos y no lectivos, como muestra la Figura 21. Aquí tampoco se distingue entre escuelas infantiles públicas y privadas, ya que los valores arrojados no presentan diferencias significativas.

El consumo registrado en días no lectivos está ligado a tareas de mantenimiento y a la presencia de fugas y consumos indebidos, tema que se desarrolla en detalle en el siguiente capítulo.

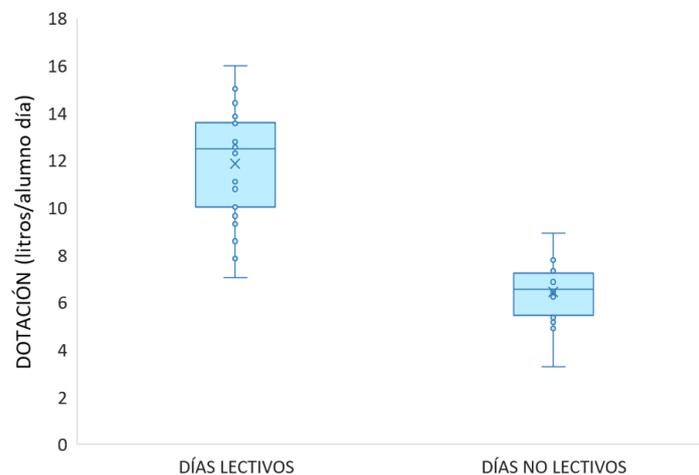


Figura 21. Dotación media ESCUELAS INFANTILES.

#### 4.2.1.2. Colegios e Institutos

La siguiente categoría del Grupo I corresponde a centros destinados a la educación obligatoria desde los 6 hasta los 18 años. Se trata de colegios de educación primaria e institutos

secundarios, conocidos como ESO (Educación Secundaria Obligatoria), a los que se suman también bachilleratos.

En total se analizan 60 usuarios, 26 de ellos de titularidad pública, 8 privados y 52 privados concertados. Su curva de modulación anual se muestra en la Figura 22.

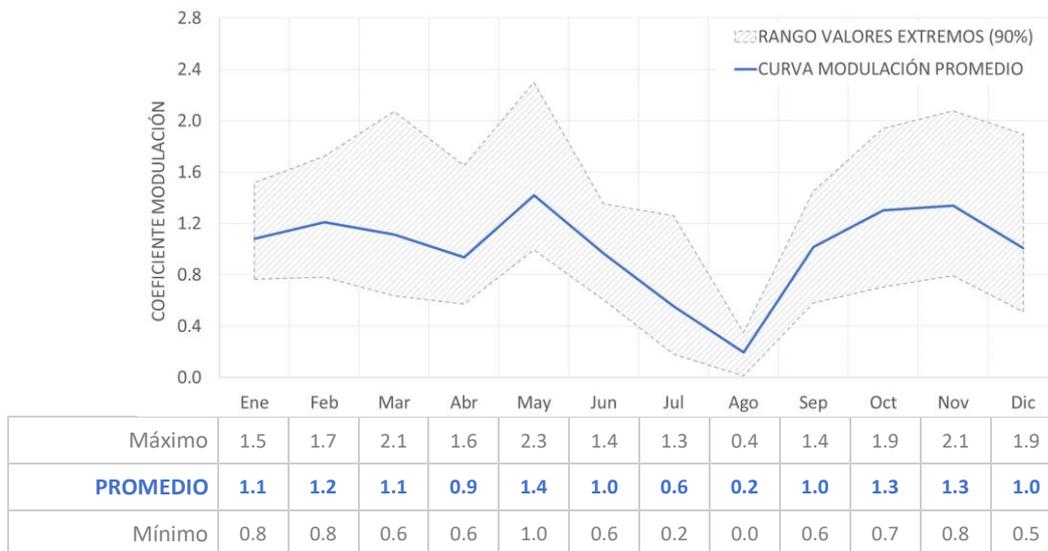


Figura 22. Curva de Modulación Anual COLEGIOS E INSTITUTOS.

La curva de modulación semanal y los rangos de valores dentro de los percentiles 5 y 95 de la Figura 23 corresponden a semanas lectivas, descartando semanas festivas y el mes de agosto completo.

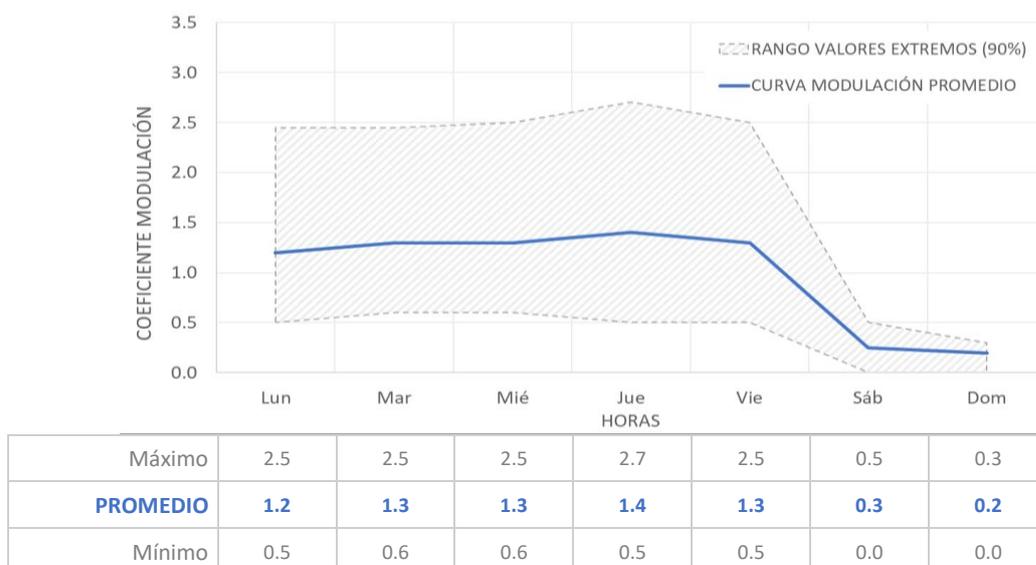


Figura 23. Curva de Modulación Semanal COLEGIOS E INSTITUTOS.

La modulación diaria de la Figura 24 se confecciona siguiendo el mismo criterio, es decir, representando el comportamiento del usuario sólo durante días lectivos, excluyendo festivos y fines de semana.

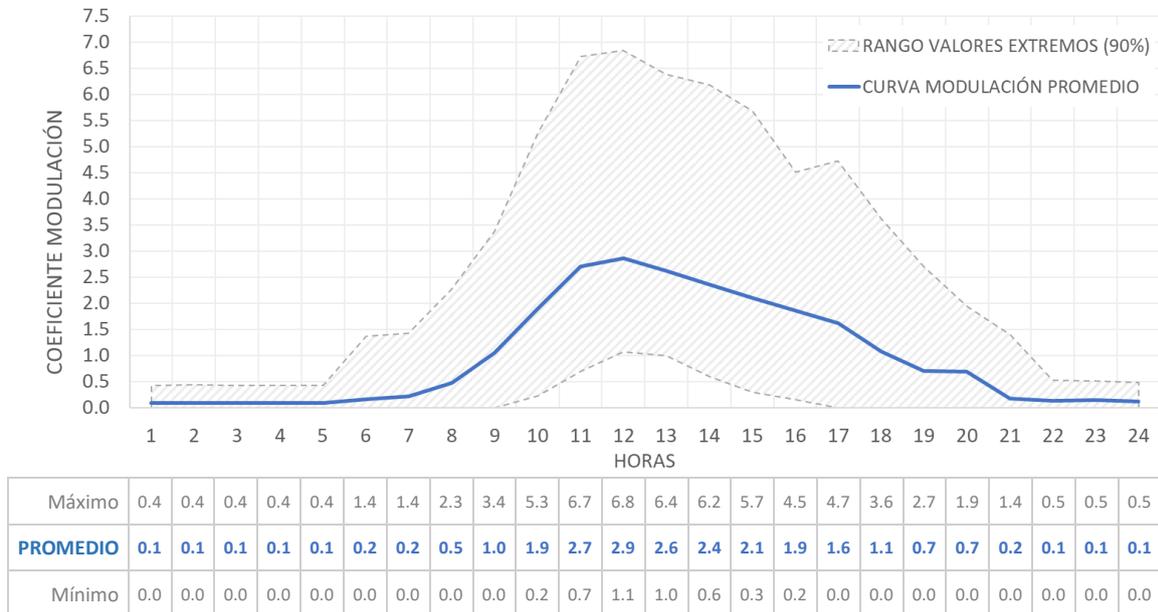


Figura 24. Curva de Modulación Diaria COLEGIOS E INSTITUTOS.

La distribución de los coeficientes máximos horarios, expuesta en la Figura 25, se realiza tomando el promedio de los dos valores máximos de cada día lectivo, agrupándolos por rangos y luego calculando el porcentaje de aparición de cada uno de ellos.

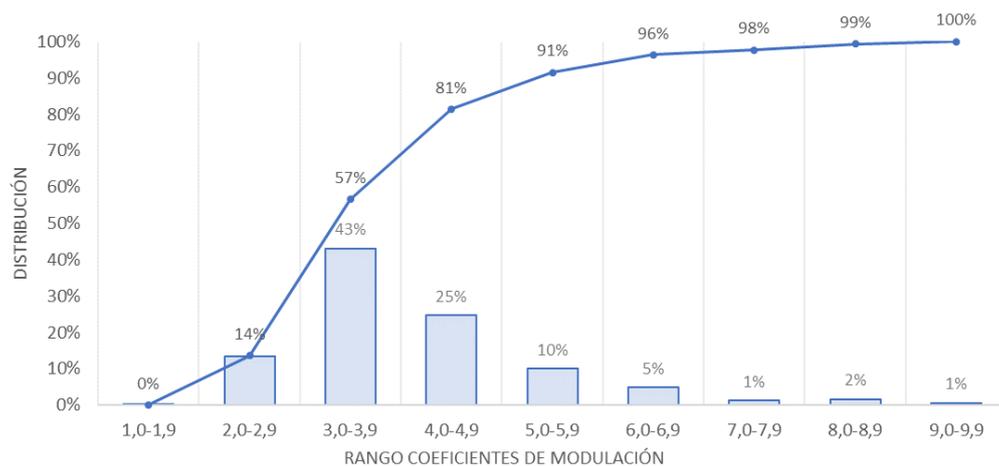


Figura 25. Distribución de coeficientes de modulación máximos horarios COLEGIOS E INSTITUTOS.

En cuanto a las dotaciones, los datos disponibles permiten discriminar entre días lectivos y no lectivos para centros de titularidad pública y, por otro lado, para centros privados y privados

concertados. Los dos últimos casos se analizan en conjunto, por no contar con suficientes datos de centros privados.

En la Figura 26 se comparan los resultados obtenidos con los valores publicados por algunos especialistas.

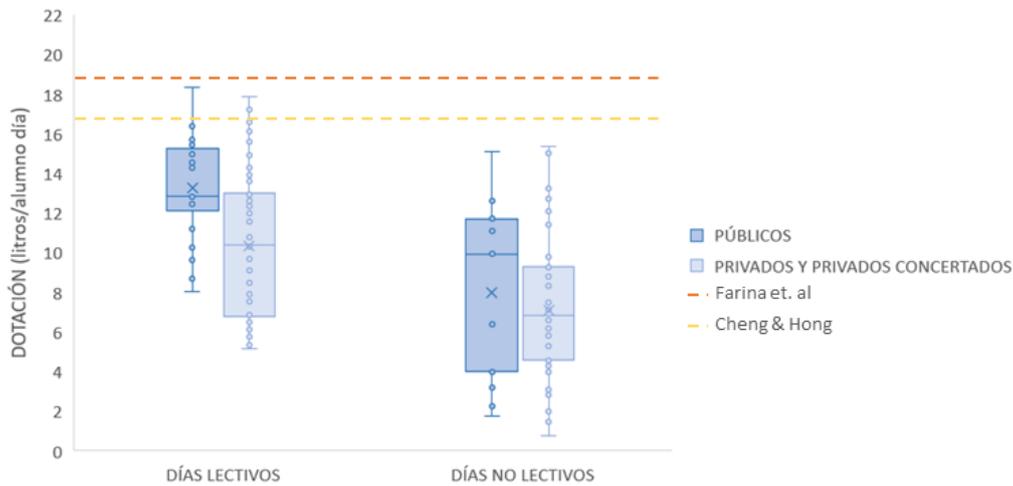
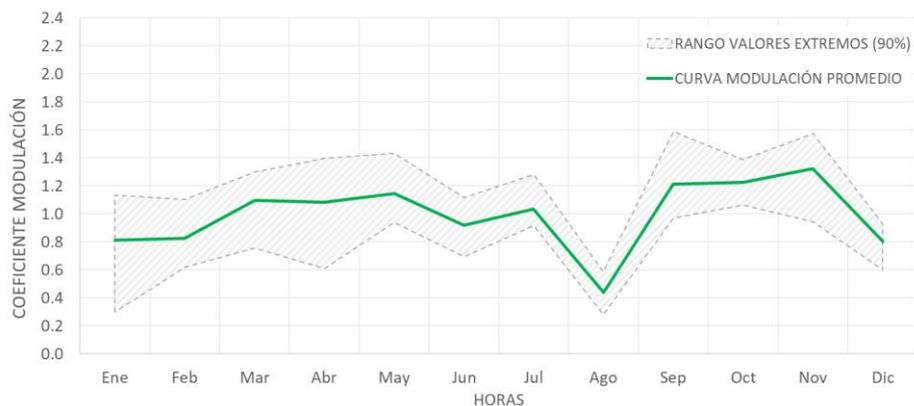


Figura 26. Dotación media COLEGIOS E INSTITUTOS.

#### 4.2.1.3. Universidades

Para esta categoría se emplean datos correspondientes a 6 universidades. La curva de modulación anual, mostrada en la Figura 27, es confeccionada con los dos años de registro disponibles para esta categoría.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máximo	1.1	1.1	1.3	1.4	1.4	1.1	1.3	0.6	1.6	1.4	1.6	0.9
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>1.1</b>	<b>1.1</b>	<b>1.1</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>0.4</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>0.8</b>
Mínimo	0.3	0.6	0.8	0.6	0.9	0.7	0.9	0.3	1.0	1.1	0.9	0.6

Figura 27. Curva de Modulación Anual UNIVERSIDADES.

La curva de modulación mostrada en la Figura 28 excluye las semanas correspondientes al mes de agosto.

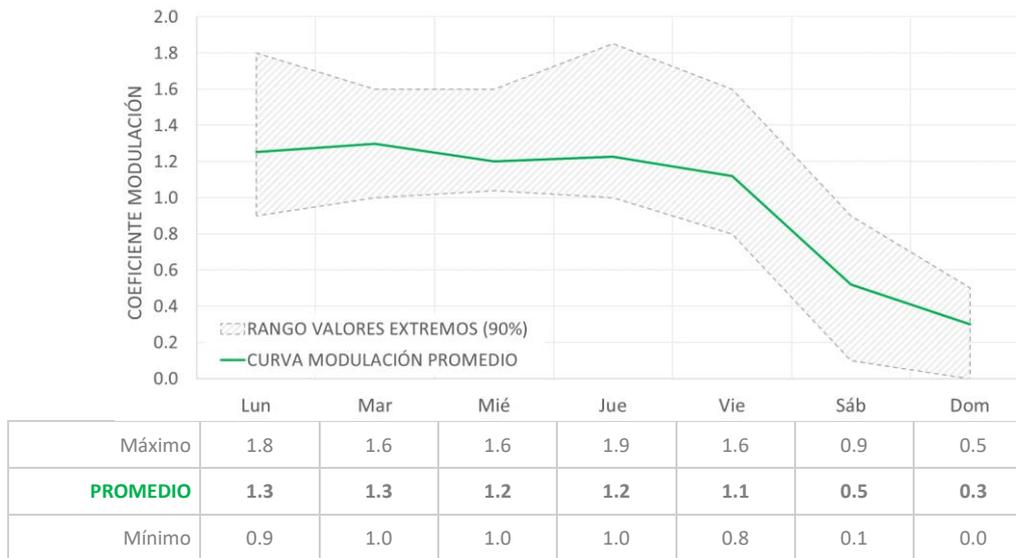


Figura 28. Curva de Modulación Semanal UNIVERSIDADES.

La curva de modulación diaria de la Figura 29, y la distribución de coeficientes punta mostrados en la Figura 30, se confecciona contemplando sólo días lectivos, como en las categorías anteriores.

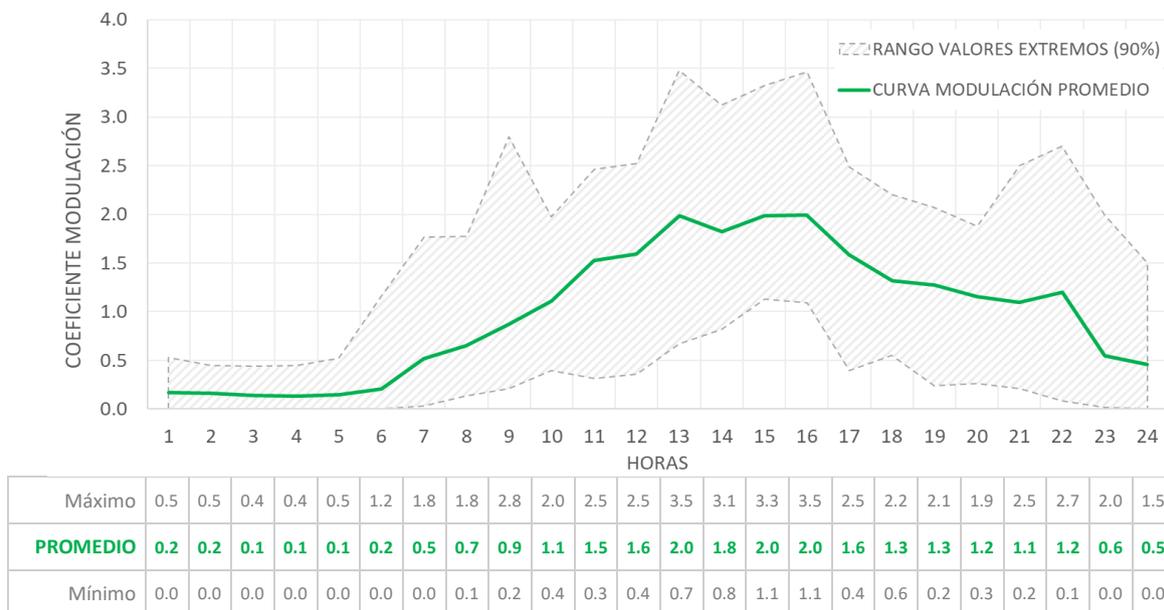


Figura 29. Curva de Modulación Diaria UNIVERSIDADES.

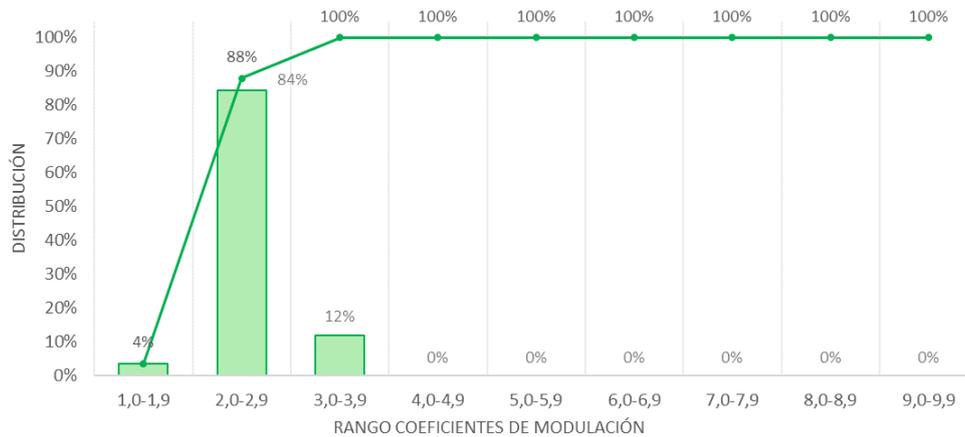


Figura 30. Distribución de coeficientes de modulación máximos horarios UNIVERSIDADES.

Respecto a las dotaciones, si se aplicara el mismo criterio de cálculo que las demás categorías, sería necesario disponer de la cantidad de alumnos de cada universidad incluida en el análisis. Al no contar con dicha información y considerar inadecuada su estimación, se excluye el cálculo de dotaciones en esta categoría.

Por otra parte, teniendo en cuenta la diversidad de actividades desarrolladas en los campus universitarios, se considera inapropiado proponer un valor de dotaciones que pueda aceptarse como representativo para todos los casos.

Finalmente, cabe mencionar que este tipo de establecimientos, en especial aquellos que se ubican a las afueras de una población, en ocasiones cuentan con perforaciones o pozos profundos, como complemento al abastecimiento de agua desde la red. El volumen extraído de éstas fuentes subterráneas y su uso varían considerablemente de un campus universitario a otro. Por esta razón, obtener una dotación por persona, considerando sólo el consumo registrado desde la red de suministro, no representa adecuadamente el volumen total consumido.

En el Anexo II de este trabajo se expone como ejemplo el análisis de las lecturas registradas en la Universidad Politécnica de Valencia, en el Campus de Vera, y la determinación de la dotación proveniente del suministro de red.

#### 4.2.1.4. *Discusión de resultados Grupo I*

Si se observan en conjunto las curvas de modulación de cada categoría para un mismo período de análisis, queda en evidencia una clara similitud entre las mismas. Esto se debe a que todos

los usuarios analizados en este grupo responden a calendarios académicos análogos. Por ejemplo, si se examinan las curvas de modulación anual, mostradas en la Figura 17, Figura 22 y Figura 27, tal como es de esperar, existe una coincidencia clara en el mes de menor consumo asociado al período vacacional. También se aprecia una reducción durante marzo y abril, en coincidencia con los festivos de semana santa. De todas maneras, es posible mencionar algunas particularidades, como la expuesta en la Figura 17, para escuelas de educación infantil durante el mes de julio se da un pico de consumo que, según la información recopilada, puede estar asociado a los servicios de escuela de verano que ofrece este tipo de centros, período en el cual hay un eventual incremento de la cantidad de alumno.

Respecto a las curvas de modulación semanal mostradas en la Figura 18, Figura 23 y Figura 28, se aprecia claramente la disminución del consumo durante los fines de semana. Sin embargo, para el caso de las universidades, esta reducción no resulta tan significativa, ya que con frecuencia diferentes instalaciones de los campus universitarios permanecen abiertas durante los sábados e incluso domingos.

Ahora bien, si se analiza la modulación diaria, de la Figura 19, Figura 24 y Figura 29, las tres categorías muestran cierta coincidencia en el rango horario de mayor consumo, que comienza a las 9:00 horas hasta las 18:00 horas en el caso de escuelas infantiles, colegios e institutos, y se extiende hasta las 22:00 para universidades, considerando en todos los casos sólo días lectivos. Los picos de consumo se registran alrededor del mediodía en las dos primeras categorías, mientras que para campus universitarios se da unas horas más tarde, entre las 13:00 y 16:00 horas. Para este último caso, tal como muestra la Figura 29, los rangos de variación de los coeficientes de modulación horaria tienen mayor dispersión que las demás categorías. Esto puede relacionarse a que existe mayor diversidad de usos del agua asociadas a las distintas actividades desarrolladas en los campus universitarios.

Comparando los resultados obtenidos en la distribución de los coeficientes máximos horarios de cada categoría, se observa que el 90% de los volúmenes máximos consumidos queda representado por un coeficiente punta entre 6.0 y 6.9 para escuelas infantiles, tal como muestra la Figura 20. La segunda categoría, cuyos resultados se observan en la Figura 25, alcanza el mismo porcentaje de volúmenes máximos con un rango algo menor, entre 5.0 y 5.9, y finalmente, en Figura 30 las universidades presentan una clara particularidad en los

resultados, mostrando que casi el 90% de los volúmenes máximos consumidos se concentra dentro de un rango de coeficientes que va entre 2.0 y 2.9.

En cuanto a las dotaciones características asociadas a escuelas infantiles, se puede tomar como primera aproximación el valor obtenido para días lectivos de 12.0 litros por alumno y día, como muestra la Figura 21, ya que no se tienen valores de referencia para esta categoría en particular.

El cálculo de las dotaciones para colegios e institutos arroja valores algo inferiores a los citados por otros autores, para colegios públicos se obtiene una dotación de 13.2 litros por alumno y día durante días lectivos, mientras que otros estudios proponen 18.7 litros por alumno y día, para esta misma categoría (Farina, et al., 2013). Otros autores proponen para colegios de educación primaria, sin distinguir entre la titularidad de los mismos, una dotación media de 16.9 litros por alumno y día (Cheng & Hong, 2004). Respecto a los colegios privados y privados concertados, el valor medio obtenido es incluso inferior, 10.3 litros por alumno y día, sin embargo, es importante considerar la gran dispersión que presentan los resultados, tal como muestra la Figura 26.

#### 4.2.2. GRUPO II: Hoteles

El Grupo II cuenta con una sola categoría compuesta por 18 hoteles, de 1 a 5 estrellas. Cabe recordar que todos ellos se clasifican como hoteles de ciudad, por lo tanto, el comportamiento descrito mediante la caracterización propuesta puede no ser representativo para hoteles del tipo rural, de playa, o carretera.

Por otra parte, como se ha mencionado en el apartado que describe en detalle los grupos analizados, se debe tener en cuenta que las variaciones en el consumo de este tipo de usuarios están estrechamente relacionadas al grado de desarrollo turístico de la región.

En este caso, la caracterización se realiza utilizando las lecturas horarias de hoteles ubicados en ciudades sobre la costa mediterránea española. Todos ellos cuentan con al menos 3 años de registro (2016, 2017 y 2018).

##### 4.2.2.1. Pautas de consumo obtenidas

En la determinación de la curva de modulación anual de la Figura 31 se distinguen sobre el eje de las abscisas los meses correspondientes a las temporadas turísticas alta y baja.

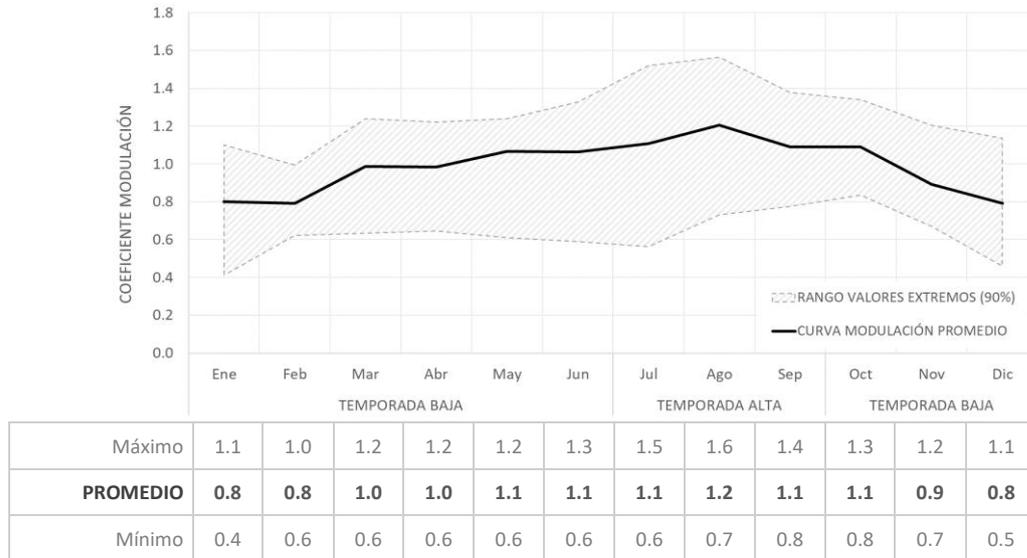


Figura 31. Curva de Modulación Anual HOTELES.

En esta categoría, a diferencia de las anteriores, las curvas de modulación semanal y diaria y la distribución de los coeficientes máximos horarios, se confeccionan utilizando la totalidad de los días con registro de consumos, ya que la actividad hotelera se considera permanente durante todo el año.

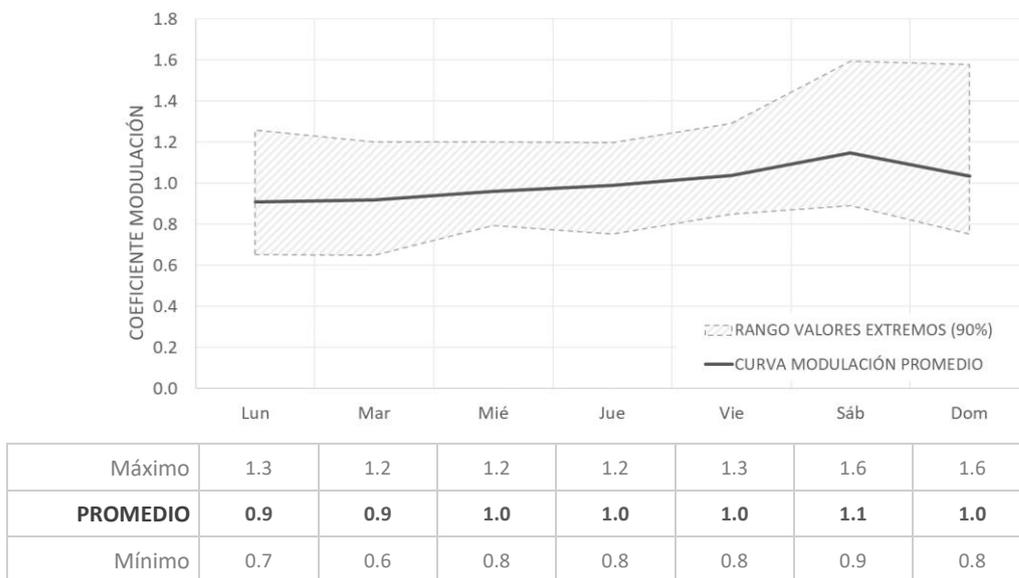
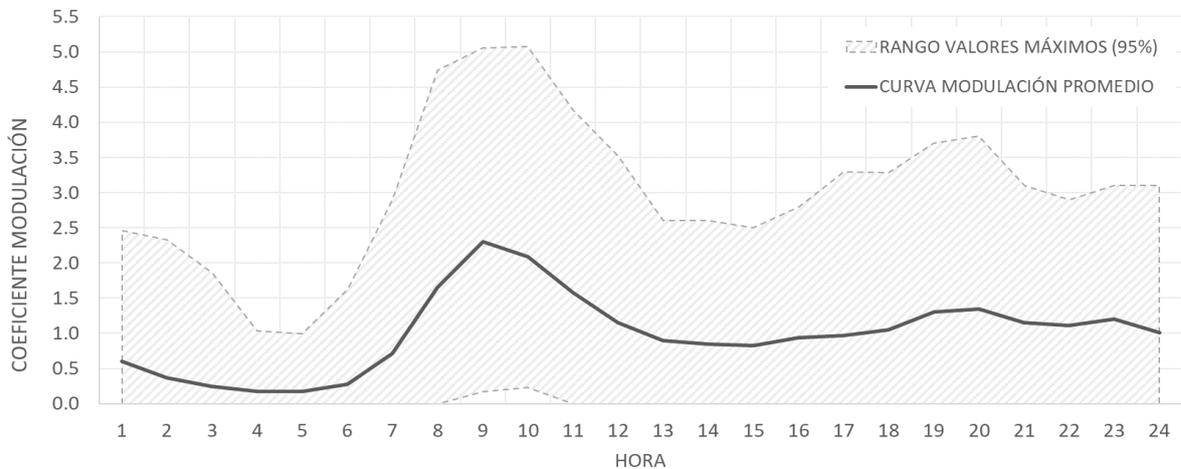


Figura 32. Curva de Modulación Semanal HOTELES.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Máximo	2.5	2.3	1.9	1.0	1.0	1.6	2.9	4.7	5.1	5.1	4.2	3.5	2.6	2.6	2.5	2.8	3.3	3.3	3.7	3.8	3.1	2.9	3.1	3.1
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.6</b>	<b>0.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>	<b>1.7</b>	<b>2.3</b>	<b>2.1</b>	<b>1.6</b>	<b>1.2</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.0</b>
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 33. Curva de Modulación Diaria HOTELES.

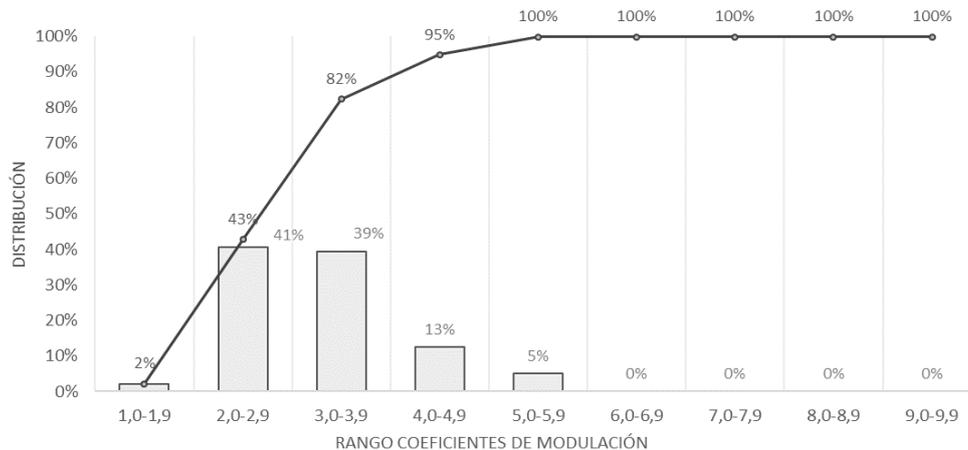
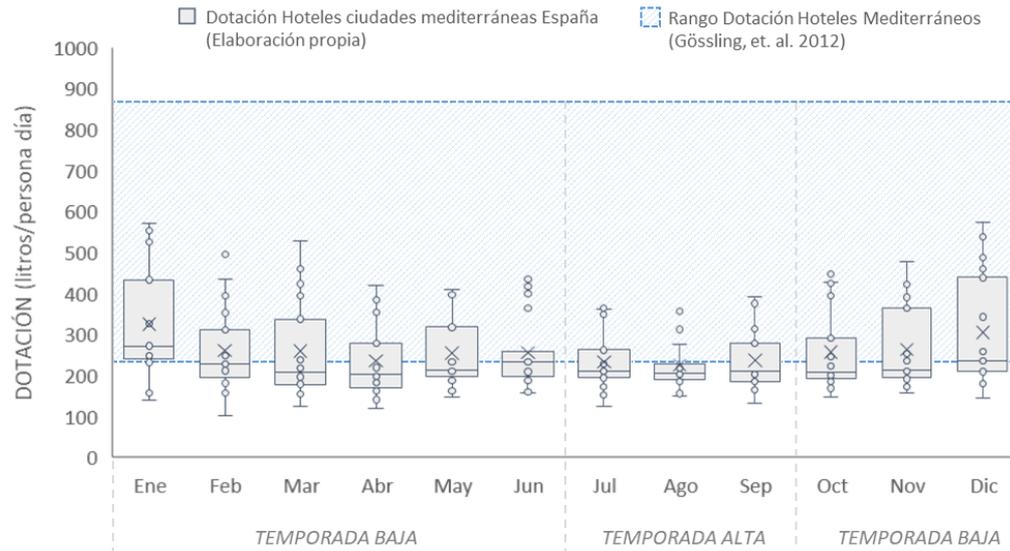


Figura 34. Distribución de coeficientes de modulación máximos horarios HOTELES.

El cálculo de las dotaciones, tal como se explica en el apartado anterior de este mismo capítulo, se hace mediante la relación entre el consumo de agua diario registrado sobre el número de plazas disponibles, afectando este último valor por el porcentaje de ocupación. Éste varía a lo largo del año y en función a la región. Según la información publicada por las oficinas de estadística se toma una media mensual para cada hotel, de acuerdo a la Comunidad en la que está ubicado, y se calcula una dotación característica para cada mes, como muestra la Figura 35. La misma incluye un rango de dotaciones propuesto por otros autores.



DOT. MEDIA (litros/persona día)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	324	259	258	235	254	255	233	224	236	256	263	304

Figura 35. Dotación mensual en HOTELES.

Luego, en la Figura 36 se presentan los resultados por temporada turística, agrupándolos según la categoría de sus instalaciones y servicios ofrecidos, esto es, por un lado de 1 a 3 estrellas y, por el otro de 4 y 5 estrellas.

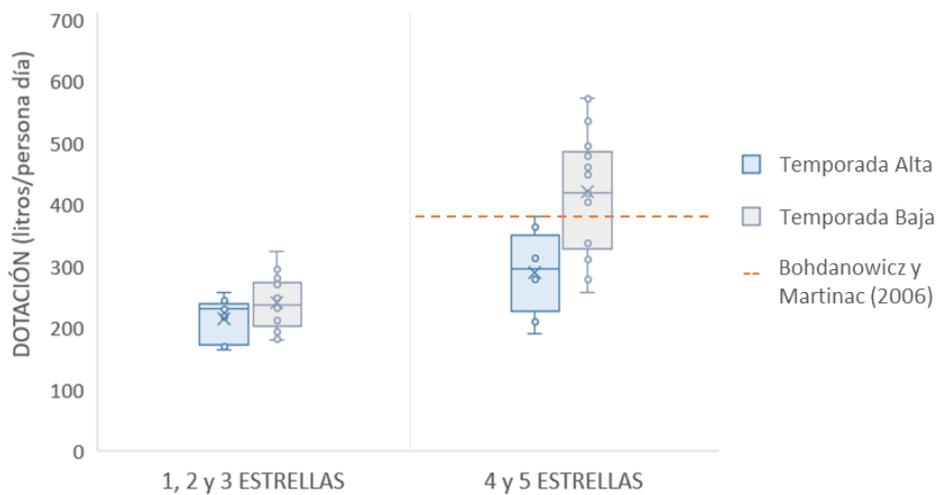


Figura 36. Dotación por temporada y categoría en HOTELES.

#### 4.2.2.2. Análisis por temporadas turísticas y festivos

Para completar la caracterización del Grupo II se propone un análisis comparativo entre diferentes períodos, con el objetivo de visualizar posibles variaciones en el comportamiento de este tipo usuarios a lo largo del año.

En primer lugar, se definen curvas semanales con los registros de consumo durante los meses de la temporada turística alta y baja, y de semana santa. Para su elaboración se utilizan 3 años de lecturas horarias de hoteles ubicados en la ciudad de Valencia (2016, 2017 y 2018).

La Figura 37 muestra las curvas correspondientes a los tres períodos seleccionados y en último lugar, una superposición de las mismas con la media anual y los porcentajes de variación respecto a ésta.

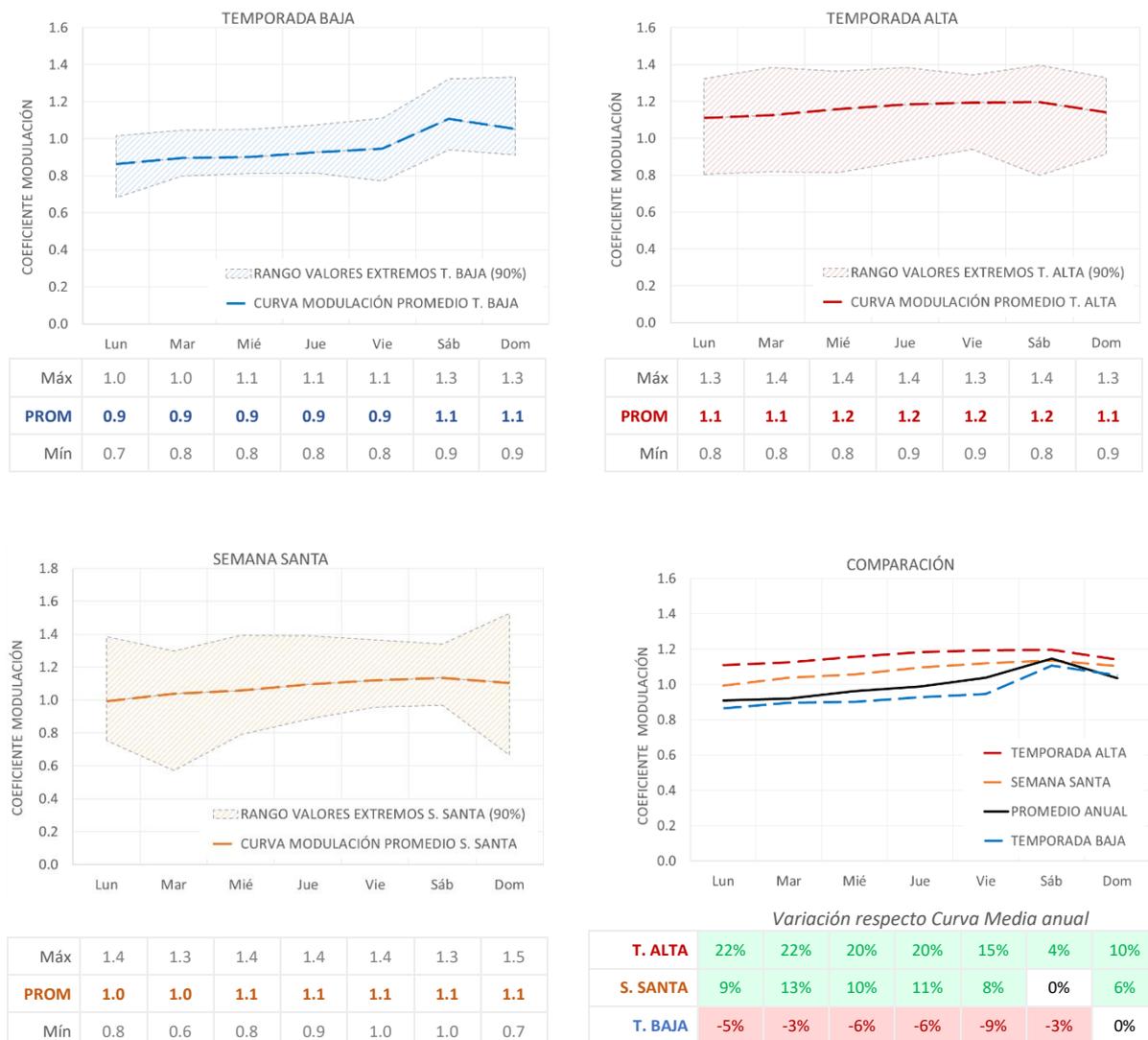


Figura 37. Variación de la curva de modulación semanal para diferentes períodos del año en HOTELES de Valencia.

Cada curva se obtiene relacionando el consumo medio anual con el registrado durante las semanas señaladas. Por esta razón, el valor medio alrededor del cual oscila cada curva puede resultar distinto de 1.

Por otra parte, se hace un análisis análogo para los períodos festivos de Navidades y Fallas. Esta última es una fiesta tradicional propia de la Comunidad Valenciana, durante la que se percibe un importante movimiento turístico. En ambos casos, el análisis no se realiza por semanas sino contemplando la duración total de cada fiesta, en días, del 23 de diciembre al 06 de enero para vacaciones de Navidades y, para el caso de Fallas, teniendo como día festivo principal el 19 de marzo, se toman los 7 días previos y 3 días posteriores.

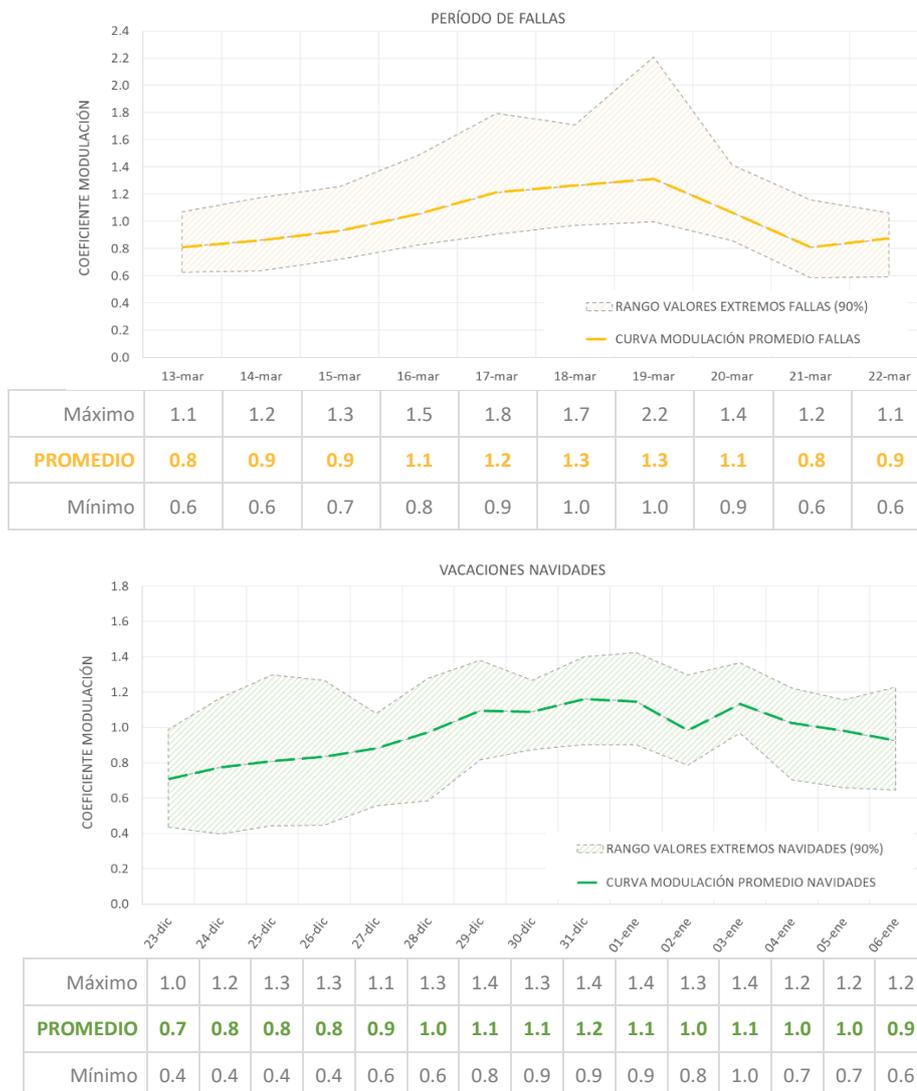


Figura 38. Modulación durante festividades HOTELES de Valencia.

Luego, se calculan las dotaciones de cada temporadas y fechas festivas, utilizando el grado de ocupación propio de cada período. Los resultados se muestran en la Figura 39.

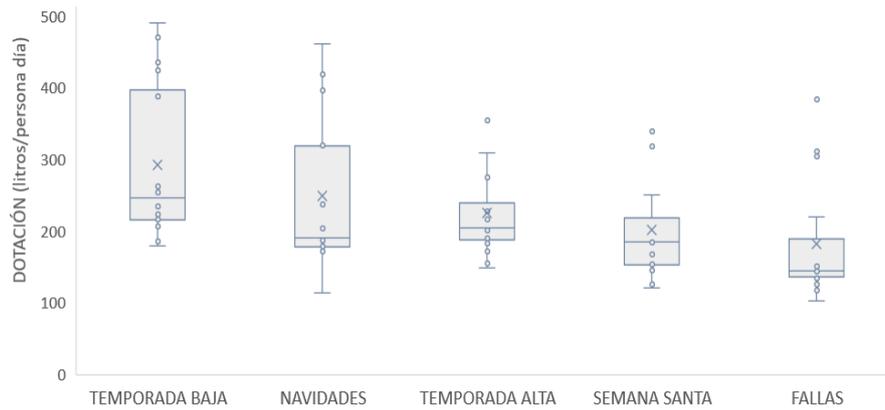


Figura 39. Dotación por temporadas y festivos en HOTELES.

Finalmente, observando la tendencia de la figura anterior, se ordenan los resultados en la Tabla 9 y se grafica la relación entre la dotación media obtenida y el grado de ocupación para cada período, tal como muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 9. Dotaciones por temporadas y festivos en HOTELES.

PERÍODO	DOTACIÓ MEDIA		GRADO DE OCUPACIÓ*
TEMPORADA BAJA	↑	293 litros/persona día	51%
NAVIDADES		250 litros/persona día	60%
TEMPORADA ALTA		226 litros/persona día	78%
SEMANA SANTA	↓	202 litros/persona día	87%
FALLAS		182 litros/persona día	88%

\*Fuente: Oficina de Estadísticas del Ayuntamiento de Valencia (Estadística Valencia, 2018).

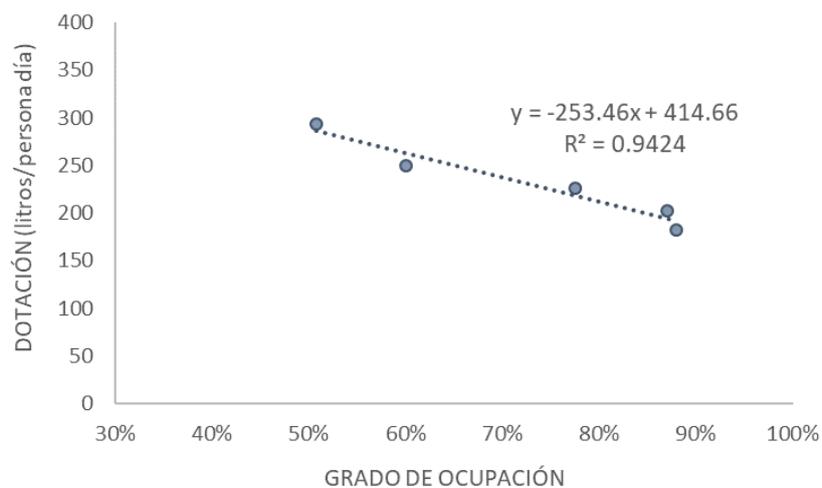


Figura 40. Correlación entre dotaciones y el grado de ocupación hotelera.

#### 4.2.2.3. *Discusión de resultados Grupo II*

La modulación media anual en hoteles, mostrada en la Figura 31, tiene un claro período de consumos punta coincidente con la temporada turística alta. En ese período, el rango de marcado por los percentiles 5 y 95 se amplifica, mostrando mayor variabilidad entre los valores máximos y mínimos posibles.

La curva de modulación media semanal de la Figura 32 evidencia un comportamiento uniforme, con un leve incremento durante los fines de semana, específicamente los días sábados.

Al analizar la modulación diaria de la Figura 33, se observa durante las horas de la mañana, entre las 8:00 y las 11:00, un evidente período de consumos punta, que luego desciende y oscila alrededor de su valor medio, hasta las primeras horas de la madrugada. Esta gráfica muestra un amplio rango de variación de los coeficientes de modulación.

Respecto a la distribución de coeficientes máximos horarios, valores entre un rango de 4.0 y 4.9, suponen un 95% de los consumos punta en este tipo de usuarios.

Las dotaciones medias mensuales mostradas en la Figura 35 oscilan entre 224 y 324 litros por persona y día. Estos valores se encuentran en el límite inferior propuesto por algunos especialistas que han realizado estudios del consumo de agua para hoteles mediterráneos, proponiendo un amplio rango de dotaciones que va desde 250 a 880 litros por huésped y día. Cabe destacar que, dentro de este rango, dotaciones superiores a 400 litros son asociadas a hoteles de lujo (Gössling, S.; Peeters, P.; Hall, M.; Cerone, J. P.; Dubois, G.; Lehmann, L.; Scotth, D., 2012), mientras que sólo el 20% de los hoteles analizados en este trabajo son de categoría superior.

Continuando con este análisis, en la Figura 36 queda en evidencia que los hoteles con un mayor nivel de servicios se caracterizan por tener una dotación más elevada, vinculada a las instalaciones frecuentes en este tipo de alojamientos, tales como, jacuzzi, piscina, etc. Sin distinguir entre temporada alta y baja, la dotación media obtenida en este caso es de 382 litros por persona y día, valor que coincide con el propuesto por otro estudio realizado sobre hoteles de lujo en Europa, donde se define una dotación media diaria de 393 litros por huésped (Bohdanowicz & Martinac, 2007).

Ahora bien, haciendo foco en el análisis del consumo por temporadas y festivos, realizado para hoteles ubicados en la ciudad de Valencia, es importante destacar la variación que presenta la modulación media durante estos períodos. Observando las curvas expuestas en la Figura 37 se concluye que el comportamiento durante temporada baja, evidenciado por la forma de la curva, resulta análogo a la curva de modulación media semanal, mientras que para temporada alta y durante semana santa, los consumo se encuentran en general entre un 10% y un 20% por encima de ésta.

Continuando con los resultados obtenidos para los períodos festivos, durante los días de Fallas, se alcanzan los coeficientes máximos diarios de todo el año, particularmente durante el 19 de marzo, día festivo principal. Por otra parte, durante los festivos de Navidades, no se perciben cambios significativos en la modulación, demostrando que no se trata de un período de afluencia turística intensa, para el caso de análisis.

Retomando los resultados obtenidos en el cálculo de dotaciones, en la Figura 35, se observa una tendencia inversa a la curva de modulación anual, es decir, se hacen mínimas durante los meses de temporada alta. Esto puede explicarse por la marcada influencia del grado de ocupación hotelera, que resulta máximo durante este período. Una lectura análoga puede hacerse en la Figura 36, al observar las dotaciones por temporada, tanto en hoteles de categoría básica y estándar (1 a 3 estrellas) como para los de nivel superior (4 y 5 estrellas), las dotaciones resultan mayores en temporada baja, donde el grado de ocupación es inferior respecto a temporada alta. Por otro lado, la Figura 39, que muestra las dotaciones por temporada turística y períodos festivos, permite deducir que cuanto mayor es el grado de ocupación hotelera, menor resulta la dotación. Esta hipótesis finalmente se verifica en la Figura 40, donde el coeficiente de determinación  $R^2$  obtenido es de 0.9424, dejando en evidencia esta estrecha relación.

En coincidencia con lo expuesto, otros autores sostienen que existe una clara relación inversa entre el porcentaje de ocupación y el consumo de agua por huésped, debido a que uso de agua por parte del personal del hotel en tareas asociadas a limpieza y mantenimiento representa un consumo relevante fijo, que en épocas de mayor ocupación se distribuyen entre más personas (Meade & Gonzalez-Morel, 1999).

### 4.2.3. GRUPO III: Establecimientos de restauración

El último grupo de estudio está conformado por dos tipos de usuarios no residenciales clasificados dentro de los establecimientos de restauración.

Para el análisis se ordenan los datos en dos categorías, Bares y Cafeterías por un lado y Restaurantes por el otro. En total son 21 locales que cuentan con al menos 2 años de lecturas de consumo horarias, todos ellos ubicados en la ciudad de Valencia, España.

#### 4.2.3.1. Pautas de consumo obtenidas

Al comenzar con la caracterización de este grupo surgen inconvenientes en la recopilación de información que impiden la implementación de las técnicas propuestas hasta este punto y disminuyen la posibilidad de extrapolar los resultados a otros usuarios similares.

Si bien las lecturas de consumo cuentan con las mismas características que los grupos anteriores y la cantidad de usuarios que han superado la evaluación de calidad de los datos se considera suficiente, existe una clara falta de homogeneidad y deficiente accesibilidad a otros datos asociados al tipo de actividad desarrollada, tales como, horarios y períodos de actividad, características de las instalaciones, servicios prestados, cantidad de personas involucradas, grado de ocupación de las instalaciones, etc.

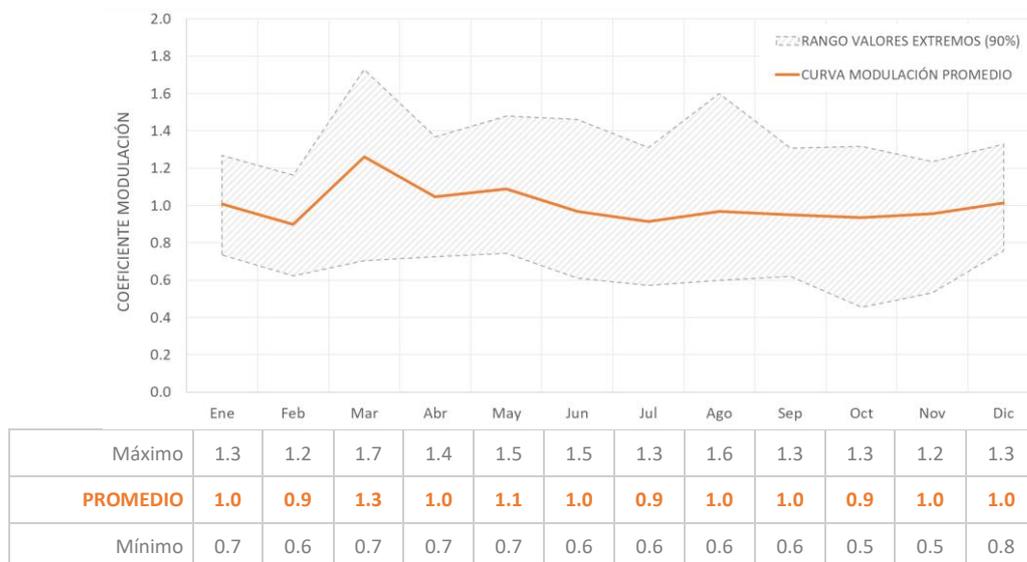


Figura 41. Curva de modulación anual CAFETERÍAS Y BARES de Valencia.

Cabe mencionar que las curvas de modulación anual, mostradas en la Figura 41 y la Figura 42, son las únicas que pueden considerarse representativas de toda una categoría, ya que, a partir de allí, cada usuario tiene sus propios días y horarios de actividad. Por esta razón, no es posible confeccionar una curva de modulación semanal o diaria que represente a la totalidad de una categoría.

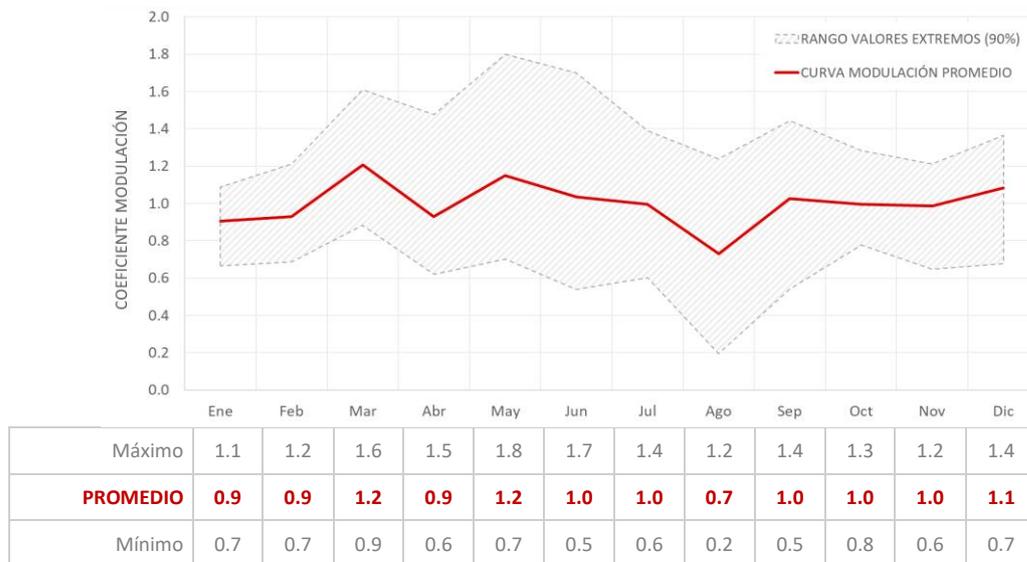


Figura 42. Curva de modulación anual RESTAURANTES de Valencia.

Se propone una dotación calculada en función de la superficie de uso público de cada establecimiento, es decir, salón y terrazas, excluyendo cocina, depósitos y aseos, cuyos resultados se exponen en la Figura 43.

Con todo esto, se pretende obtener al menos un orden de magnitud de las dotaciones características de este tipo de usuarios, y ante su eventual uso queda pendiente de ajustar y completar, según sea el caso.

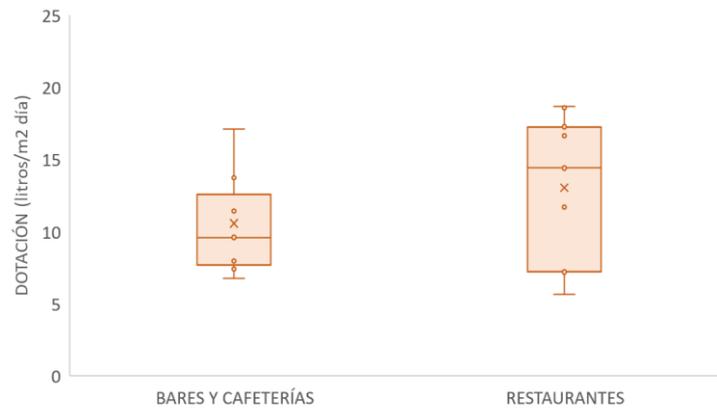


Figura 43. Dotación en ESTABLECIMIENTOS DE RESTAURACIÓN según su superficie.

#### 4.2.3.2. Utilización de otros datos disponibles en la web

Cabe recordar que la etapa de caracterización tiene como objeto definir pautas que representen adecuadamente el comportamiento de cada tipo de usuario no residencial, para luego darle utilidad, comparándolas, por ejemplo, con las lecturas de consumo registradas periódicamente por las compañías gestoras y poder identificar incidencias, tales como, fugas, consumos indebidos, fallos o fraude en los equipos de medición, etc.

Dadas las dificultades comentadas y luego de verificar que no resulta viable aplicar una metodología de análisis convencional, basada en agrupar usuarios de características similares, recopilar otros datos asociados a los mismos, para luego combinarlos con los registros de consumo de agua, queda en evidencia la necesidad de plantear una metodología de análisis con otro enfoque, sin perder de vista el objetivo principal de la fase de caracterización.

Dicho esto, el desafío en esta instancia se basa en definir elementos que, al igual que los patrones de consumo confeccionados para los grupos anteriores, permitan evaluar el comportamiento de los establecimientos de restauración e identificar incidencias a partir de los registros de consumo de agua almacenados periódicamente mediante los sistemas de telelectura.

El proceso de transformación digital, comentado en el capítulo introductorio de este trabajo, considerado en un contexto más amplio que el vinculado al sector del agua, puede ser el punto de partida para dar solución a problemas como el que surge en esta instancia. Específicamente, información disponible en la web vinculada a los establecimientos de

restauración, podrían ser una herramienta alternativa para el análisis de los consumos de agua registrados, si se verifica que éstos guardan alguna relación con el comportamiento de cada establecimiento como usuarios de una red de distribución.

La compañía Google, mundialmente conocida, especializada en productos y servicios vinculados con Internet, publica información generada a partir de los millones de datos almacenados mediante sus diferentes aplicaciones. Un ejemplo de ello, y que despierta especial interés en el presente estudio, es la disponibilidad de información actualizada relacionada a establecimientos de restauración, más allá de la información de empresa, habitualmente publicada, tales como las horas de mayor concurrencia.

Para determinar las horas populares y la duración de las visitas, la compañía usa datos agregados y anónimos de los usuarios que han elegido habilitar el historial de ubicaciones de Google. Esta información no puede agregarse manualmente y sólo se muestra junto a otros datos del establecimiento comercial publicado en internet si hay suficientes visitas registradas (Google, 2019).

La visualización de esta información se logra mediante un gráfico de barras para cada día de la semana, que muestra un valor horario relativo a la media registrada durante de las últimas semanas. La Figura 44 muestra la distribución a lo largo del día del registro de visitas en una cafetería ubicada en la ciudad de Valencia, en este caso, representativa de los días viernes.

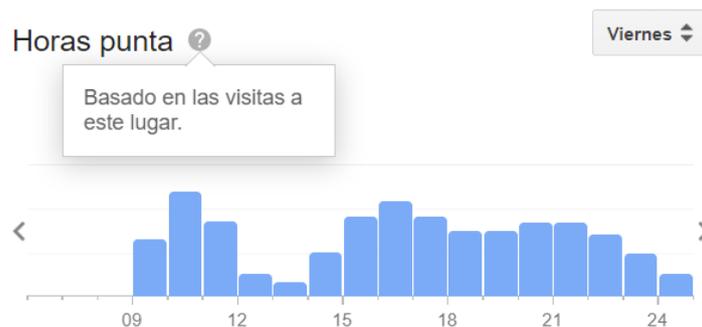


Figura 44. Horas populares durante los viernes en una Cafetería de Valencia (Google, 2019).

Normalmente, esta información resulta de utilidad tanto para los propietarios como para sus clientes. Suele usarse como referencia para compararse con la competencia, crear promociones en base a la concurrencia en determinadas horas o días de la semana, ajustar los horarios del personal según las horas de mayor demanda, en el caso de los clientes, programar

reservas según las horas más populares, etc. Sin embargo, como se menciona anteriormente, los procesos de digitalización desarrollados en las últimas décadas generan una disponibilidad masiva de datos con infinitas posibilidades de aplicación, que van incluso más allá del contexto para el que fueron creados.

A partir de esto, se propone verificar si existe una relación entre el nivel de concurrencia de personas, registrado y publicado por Google, con los registros de consumo de agua almacenados por la compañía Global Omnium, gestora del servicio en la ciudad de Valencia.

En esta instancia, la información sobre horas populares de cada establecimiento sólo es posible obtenerla manualmente, es decir, debe buscarse cada local en la web y bajar en formato de imagen la gráfica de horas de mayor concurrencia. Por esto se seleccionan algunos de los usuarios que conforman el Grupo III, y se realiza esta tarea uno a uno.

Obtenidas las imágenes para cada día de la semana, se procede a digitalizarlas mediante el uso de un programa que permite marcar los puntos de la gráfica que resultan de interés y exportar las coordenadas de los mismos, como muestra la Figura 45.

Asumiendo una escala arbitraria y considerando que éstos oscilan alrededor de la media semanal, se obtienen así los porcentajes de concurrencia representados por cada barra de la gráfica extraída del buscador de Google.

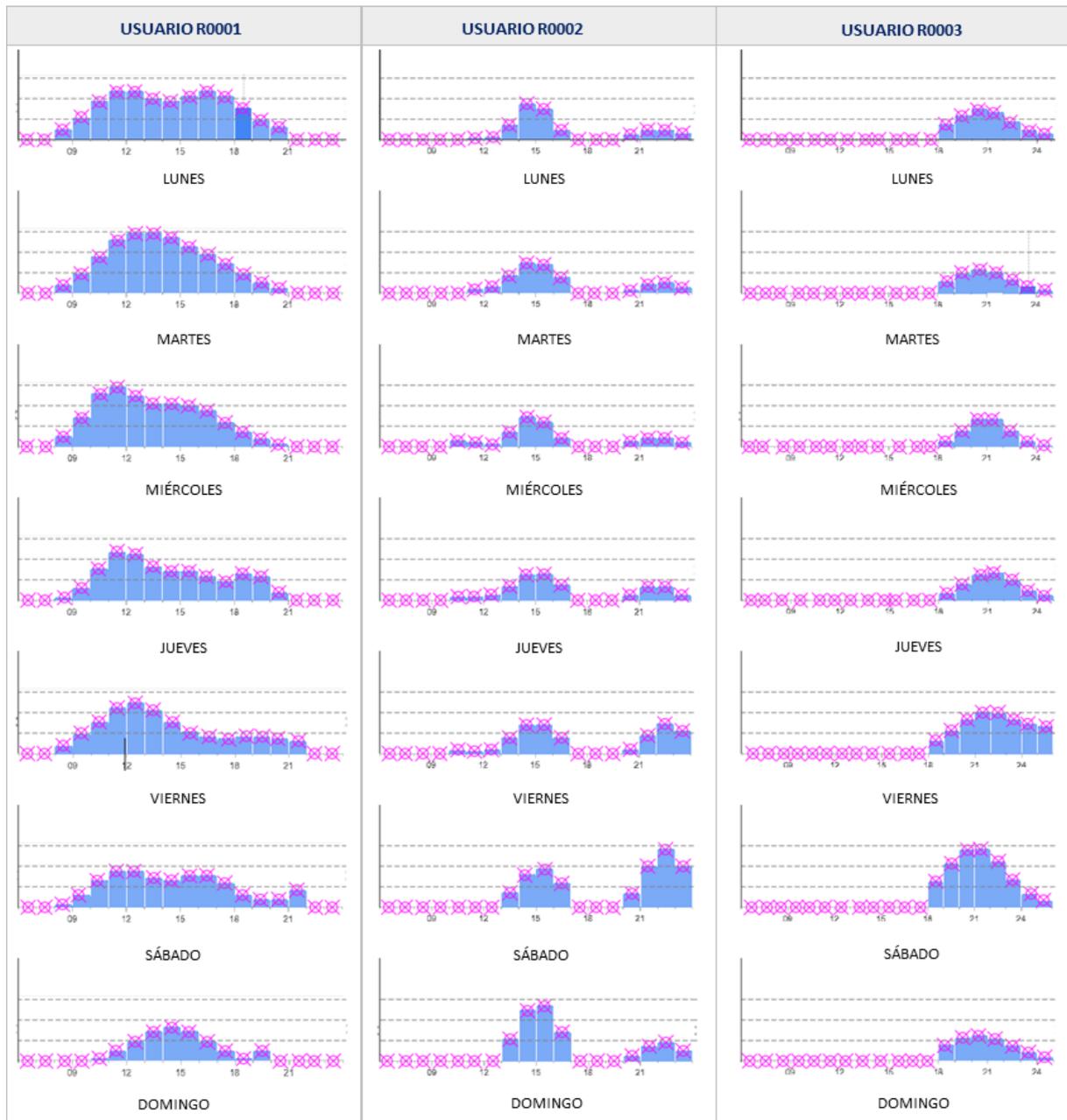


Figura 45. Digitalización de las gráficas de horas populares publicadas por Google.

Con las coordenadas de los puntos de cada gráfica es posible confeccionar una curva de modulación de la concurrencia de personas por cada día de la semana y por cada usuario seleccionado para el análisis.

De manera análoga, se construyen las curvas de modulación del consumo de agua de cada establecimiento, para cada día de la semana. Luego, se compone una curva de modulación promedio, tanto para las horas populares como de consumo de agua. Finalmente, se unifica el formato de ambas gráficas, teniendo la precaución de considerar el mismo rango horario para ambos casos.

Este procedimiento se aplica al 40% de los usuarios que conforman el Grupo III, elegidos aleatoriamente, con el objeto de verificar si existe relación entre los registros almacenados por la compañía informática y la gestora del servicio de agua de la ciudad de Valencia.

A continuación, se detallan como ejemplo los resultados obtenidos para dos usuarios, uno por cada categoría analizada en el Grupo III de usuarios no residenciales, identificados con los códigos R0002 y R0003. El primero de ellos se trata de un restaurante de comidas elaboradas, que presta servicios principalmente durante el mediodía y las horas de la cena. Ubicado en el centro de la ciudad, permanece abierto durante todos los días de la semana y tiene capacidad para unas 200 personas.

Utilizando los datos extraídos de las gráficas de horas populares publicadas por Google, se confeccionan las curvas de modulación mostradas en la Figura 46, para cada día de la semana, y a partir de éstas se obtiene una curva de modulación promedio diaria de la concurrencia de personas en ese establecimiento. Figura 46. Modulación de la concurrencia de personas para R0002. Fuente de datos: Google.

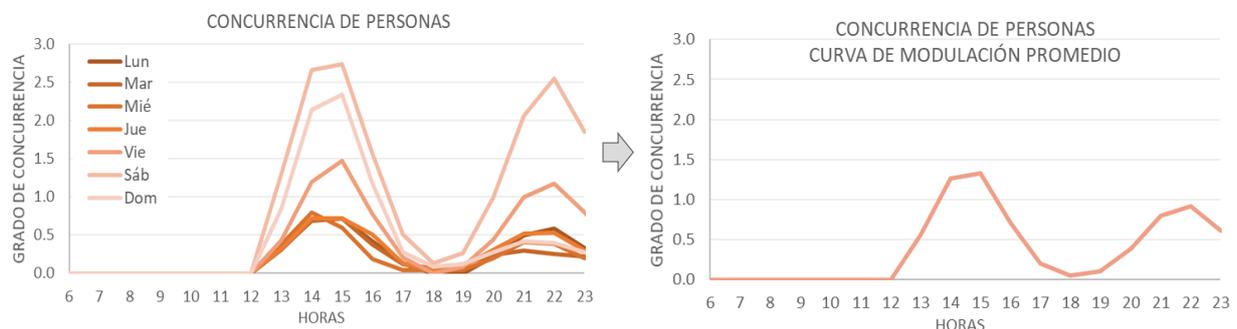


Figura 46. Modulación de la concurrencia de personas para R0002. Fuente de datos: Google.

Luego, con los datos de consumo promedio diario registrado por los sistemas de telelectura del abastecimiento, se confeccionan las curvas de modulación para cada día de la semana, obteniendo luego la curva promedio representativa del usuario en análisis, tal como muestra la Figura 47.

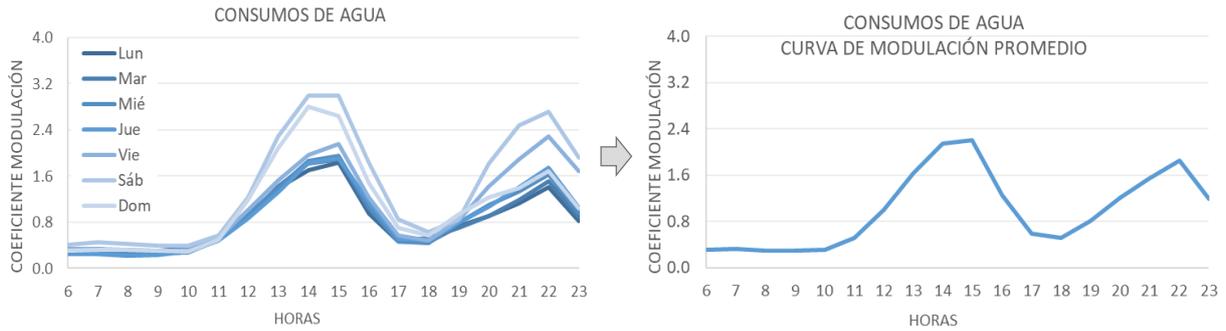


Figura 47. Modulación diaria del consumo de agua para R0002. Fuente de datos: Global Omnium.

Teniendo en cuenta la descripción provista por el soporte de la compañía informática, que sostiene que la gráfica de horas populares sólo se muestra si se cuenta con suficientes datos, si aplicamos un criterio similar a la curva de modulación de consumos de agua tomando, por ejemplo, sólo los coeficientes que están por encima de la media, es decir aquellos superiores a 1. Finalmente, se toma el mismo rango de horas y se superponen ambas curvas, se obtienen los resultados mostrados en la Figura 48.

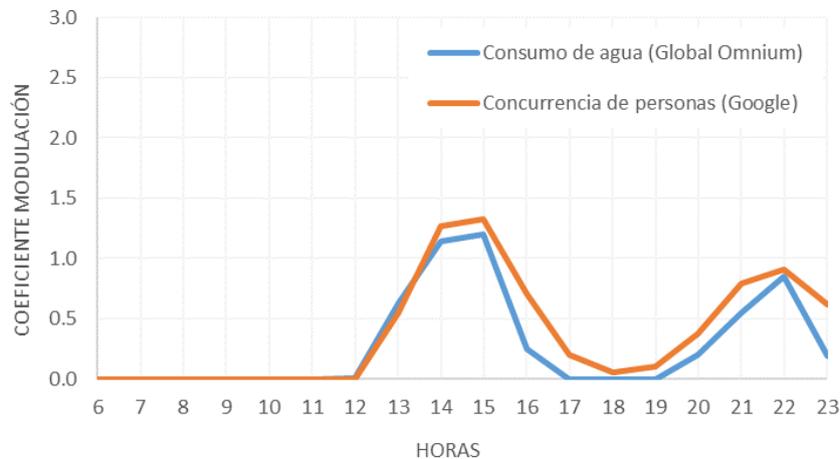


Figura 48. Comparación entre curvas de modulación para el usuario R0002.

El segundo establecimiento de restauración analizado, identificado como R003, se trata de un bar de tapas, cuya actividad se desarrolla durante las horas de la tarde y se extiende hasta la medianoche. También está ubicado en el centro de la ciudad, normalmente permanece abierto durante los siete días de la semana y cuenta con un aforo de 70 personas.

Se procede de la misma manera que para el usuario R0002, y se obtienen los resultados de la modulación asociada a la concurrencia de personas en el lugar que muestra la Figura 49.

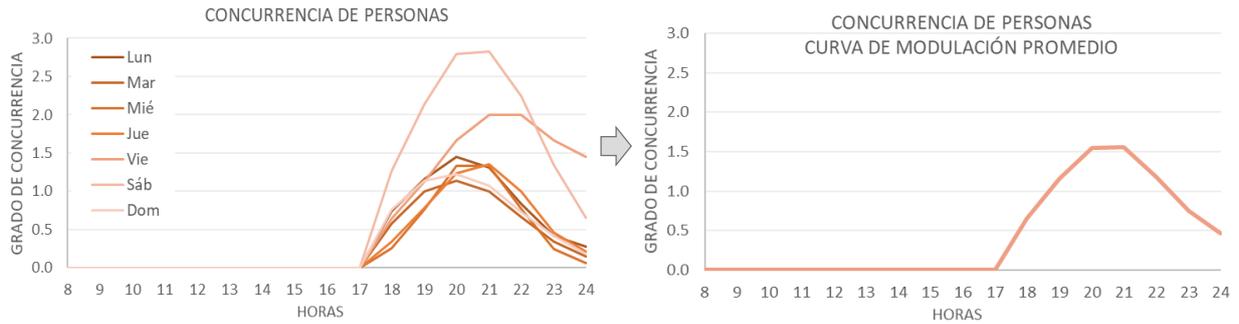


Figura 49. Modulación de la concurrencia de personas para R0003. Fuente de datos: Google.

Respecto a la modulación de los consumos de agua, se toman los registros horarios almacenados por la gestora del servicio y se confeccionan las curvas para cada día de la semana y su promedio, mostradas en la Figura 50.

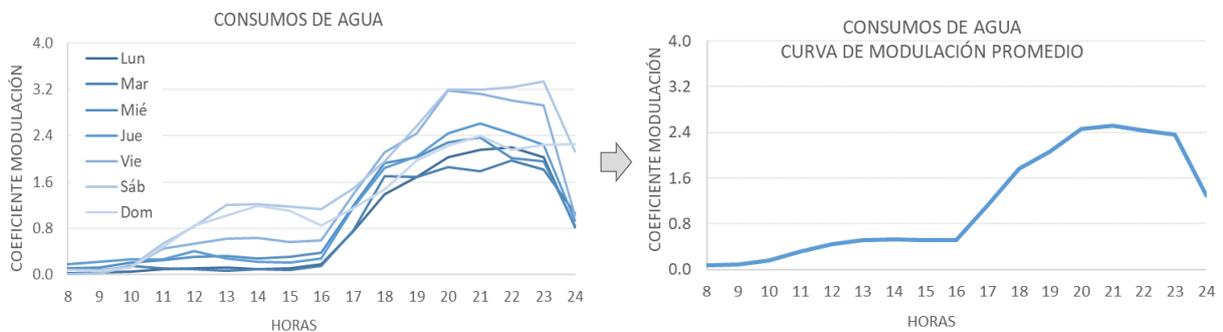


Figura 50. Modulación diaria del consumo de agua para R0003. Fuente de datos: Global Omnium.

Luego, ajustando la modulación horaria de los consumos de agua asumiendo el mismo criterio que en el caso anterior, se toman sólo los valores superiores a 1, se superponen ambas curvas y se obtienen los resultados que muestra la Figura 51.

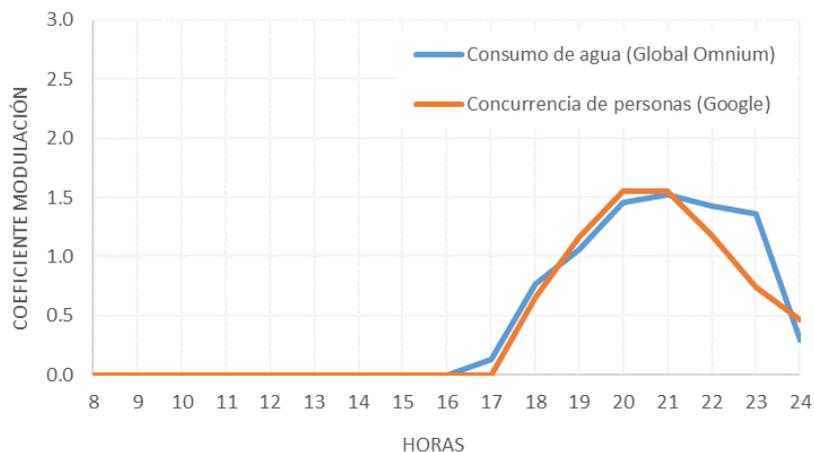


Figura 51. Comparación entre curvas de modulación para el usuario R0003.

#### 4.2.3.3. *Discusión de resultados Grupo III*

Al revisar las curvas de modulación anual expuestas en la Figura 41 y la Figura 42, surgen dos conclusiones sobre la oscilación del consumo a lo largo de los meses. En primer lugar, se observa que ambas categorías presentan un incremento de consumo durante el mes de marzo. Esto puede asociarse a los festivos propios de la población analizada que, tal como se demostró en el para el caso de hoteles de la ciudad de Valencia, tiene gran influencia sobre el consumo de agua. Por otro lado, durante los meses de temporada alta, se ven comportamientos diferenciados. En el caso de bares y cafeterías el consumo de agua se mantiene más o menos constante alrededor de su valor medio, con algunos picos de consumo observados dentro del intervalo de confianza del 90%, mientras que para restaurantes hay un claro descenso. Esto puede deberse a que durante la temporada de verano los restaurantes en el centro de la ciudad resultan menos atractivos que los ubicados en las proximidades de la playa. Sin embargo, es una teoría cuya verificación escapa al desarrollo de este trabajo.

Respecto a las dotaciones, calculadas a partir de la superficie de acceso público de los diferentes locales de restauración, se asume que los resultados obtenidos pueden ser tomados apenas como valores orientativos, dada la dificultad en la recolección de datos que describen a cada usuario, comentada con anterioridad. Se observa que no existen diferencias relevantes entre la primera categoría, de bares y cafeterías, y la segunda, conformada por restaurantes, con una dotación media diaria de 11 y 13 litros por metro cuadrado de superficie, respectivamente. Sin embargo, se insiste en la necesidad de corroborar estos valores con un estudio más exhaustivo.

Finalmente, se mencionan a continuación algunas conclusiones sobre los resultados obtenidos a partir de combinar los registros de consumo de agua con otros datos disponibles en la web.

Sin perder de vista que la monitorización de un entorno suele tener como objetivo principal la identificación de incidencias o anomalías en un contexto determinado, este tipo de análisis, se plantea como una alternativa a las metodologías convencionales de procesamiento de datos, en los que suele compararse los registros en tiempo real, con patrones preestablecidos. Como se ha demostrado, ante la dificultad en ciertos casos de definir un único patrón que refleje adecuadamente el comportamiento de todo un grupo, puede resultar interesante

combinar el análisis de dos entornos diferentes, verificando previamente que los mismos guardan una relación.

En este caso concreto, frente a los inconvenientes encontrados en la determinación de pautas de consumo de agua que resulten adecuadas para los distintos establecimientos de restauración, surge la necesidad de dar otro enfoque al procesamiento de los datos.

Su viabilidad queda reflejada en los dos ejemplos expuestos, donde se aprecia una clara relación entre la base de datos alimentada por el historial de ubicación de Google y las lecturas de consumo de agua almacenadas por parte de la empresa encargada del suministro de agua.

Puntualizando en la modulación que define ambos comportamientos, uno asociado a la presencia de personas en los locales y el otro referido al volumen de agua consumido en los mismos, no solo existe una evidente coincidencia en la forma de las curvas y los períodos de actividad más intensa, sino también en la magnitud de la modulación, tal como se muestra en los ejemplos de la Figura 48 y la Figura 51.

El análisis planteado supone apenas un ensayo o prueba piloto de las infinitas posibilidades que ofrece en la actualidad la digitalización de información y el *IoT* o internet de las cosas, mencionados en el capítulo introductorio de este trabajo. Para llegar a una implementación concreta es aconsejable continuar desarrollando esta alternativa, poniendo énfasis en primera instancia en lograr una disponibilidad de manera automatizada de los datos de partida, ya que, en este caso en particular, la extracción de datos de la web ha sido totalmente manual.

### **4.3. Distribución del volumen consumido por rangos de caudal**

Continuando con la caracterización de los usuarios no residenciales, este apartado se dedica a la descripción de una metodología de análisis de las lecturas de consumo de agua que puede resultar de gran utilidad a la hora de dimensionar contadores o verificar la sensibilidad de la medición frente a los caudales habituales de consumo.

Si bien, el dimensionado en usuarios residenciales no presenta mayores dificultades, los contadores de mediano y gran calibre, correspondientes normalmente a usuarios no domésticos, deben seleccionarse según su capacidad, dada por el caudal nominal y no por el

diámetro de la acometida (Arregui de la Cruz, et al., 2007). Por esto, es fundamental conocer la distribución de caudales característicos del usuario para lo que, bajo condiciones ideales, sería necesario un levantamiento individualizado de los caudales. Claro está que resulta demasiado ambicioso considerar la posibilidad de estudiar individualmente cada usuario no residencial que forma parte de una red de suministro. En este sentido, tener conocimiento sobre los rangos de caudal más habituales en diferentes grupos de usuarios no residenciales puede significar una referencia especialmente valiosa a la hora de decidir el modelo y calibre del equipo a instalar. Éstas y otras aplicaciones se detallan en el capítulo siguiente, de identificación de incidencias.

A diferencia de las pautas de consumo propuestas anteriormente, en esta ocasión no se busca definir patrones representativos de un grupo de usuarios, sino plantear una metodología que permita identificar los rangos de caudales habituales de cada usuario, a partir de diferentes frecuencias de medición de los datos.

Se analizan tres escenarios, en primera instancia se toman las lecturas de consumo horarias, recibidas a través de los sistemas de telelectura y luego se instalan equipos de medición en alta frecuencia para registrar los consumos cada diez y dos minutos.

Considerando que el montaje de estos dispositivos conlleva a invertir recursos y en algunos casos solicitar permisos, el estudio se centra en 8 centros educativos ubicados en la ciudad de Valencia, cuyo criterio de selección se basa en diversificar la muestra en cuanto al calibre del contador instalado.

#### 4.3.1. Lecturas horarias

El procedimiento descrito a continuación, tiene como objetivo principal obtener la distribución del volumen consumido por rangos de caudal y puede aplicarse a cualquier usuario que disponga de registros de consumos horarios.

Prácticamente la totalidad de los usuarios utilizados para la determinación de pautas de consumo cuentan con datos horarios, no obstante, este estudio se aplica sólo a los 8 centros educativos que han sido seleccionados para la instalación de los equipos registradores de datos, a fin de tener resultados completos en cuanto a diversidad de frecuencia de medición y comparar la influencia de esta variable.

El procesamiento de datos propuesto consta de siete pasos:

- 1- Cálculo de los coeficientes de modulación horaria para la totalidad del período con registros de consumo.
- 2- Selección de los intervalos de trabajo, asociados a los coeficientes de modulación calculados.
- 3- Distribución de los coeficientes de modulación calculados, dentro del intervalo correspondiente.
- 4- Determinación del consumo medio horario del usuario y cálculo de los caudales característicos para cada rango de valores adoptado.
- 5- Interpretación simplificada de los resultados parciales.
- 6- Cálculo de la distribución del volumen diario consumido para cada rango de caudal
- 7- Reordenamiento de los resultados según los parámetros metrológicos propios del contador instalado.

A continuación, se detalla cada etapa, utilizando un ejemplo concreto cuando se considera necesario, a fin de aclarar la metodología de análisis propuesta.

**1.** Se toma la base de datos de un usuario, conformada por las lecturas horarias de consumo de agua, cuyo repositorio haya superado la instancia de evaluación de calidad de datos, propuesta con anterioridad, y se calcula el coeficiente de modulación para cada hora de los días con registro día, de la siguiente manera.

$$C_{hi} = \frac{Vol_{hi}}{Vol_h} [adim] \quad (8)$$

Donde:

i: de 1 a 24

$C_{hi}$ : coeficiente de la hora i

$Vol_{hi}$ : volumen registrado durante la hora i

$Vol_h$ : volumen medio horario de ese día

Finalizado este paso, se tienen tantos coeficientes de modulación como lecturas registradas.

2. Luego, se definen rangos de valores dentro de los cuales se agruparán los coeficientes de modulación horarios calculados en el paso anterior. Por ejemplo, los intervalos adoptados pueden ser los detallados en la Tabla 10.

Tabla 10. Rangos de valores de los coeficientes de modulación horaria.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,01 a 0,29	0,30 a 0,59	0,60 a 0,89	0,90 a 1,19	1,20 a 1,49	1,50 a 1,79	1,80 a 2,19	2,20 a 2,49	2,50 a 2,69	2,70 a 2,99	3,00 a 3,29	3,30 a 3,59	3,60 a 3,89	3,90 a 4,19	4,20 a 4,49	4,50 a 4,79	> 4,80

3. Se toman los coeficientes de modulación horaria, calculados en el paso 1, y se los agrupa dentro de cada intervalo, según corresponda. Si expresamos la cantidad de valores por cada intervalo en porcentaje, respecto al total de valores calculados en el punto 1, tendremos idea de cuan predominante es un coeficiente de modulación para el usuario que estamos analizando. Para dar más claridad sobre este paso, se explica mediante un ejemplo.

El cálculo de los coeficientes de modulación horarios de un centro educativo, identificado como CE0001, arroja que para el 19% del período con datos no se registran consumos, mientras que el 28% del tiempo el consumo de agua responde a coeficientes de modulación que van entre 0.90 y 1.19, tal como muestran la Tabla 11 y la Figura 52.

Tabla 11. Distribución de los coeficientes de modulación horaria del usuario CE0001.

Sin consumo	0,01 a 0,29	0,30 a 0,59	0,60 a 0,89	0,90 a 1,19	1,20 a 1,49	1,50 a 1,79	1,80 a 2,19	2,20 a 2,49	2,50 a 2,69	2,70 a 2,99	3,00 a 3,29	3,30 a 3,59	3,60 a 3,89	3,90 a 4,19	4,20 a 4,49	4,50 a 4,79	> 4,80
19%	19%	11%	8%	28%	3%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	1%

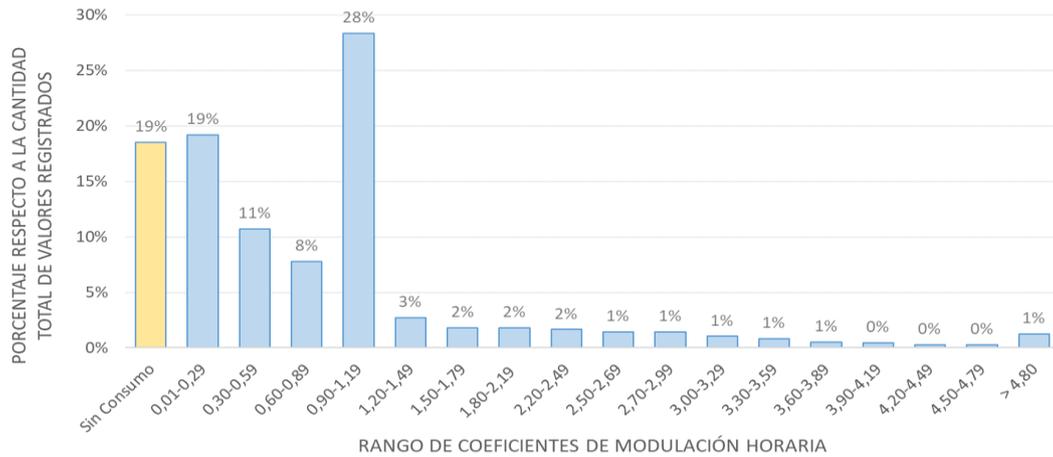


Figura 52. Distribución de los coeficientes de modulación horaria del usuario CE0001.

Estos resultados permiten definir la modulación horaria que caracteriza a cada usuario, lo que resultará útil en pasos posteriores, para calcular en qué rangos de caudal se consume el volumen diario registrado.

4. Por otra parte, se calcula el consumo medio horario del usuario, medido en litros por hora, y a partir de éste se obtiene un valor representativo de cada rango de coeficientes de modulación horaria, multiplicando el valor medio del rango de coeficientes, por el consumo medio horario del usuario.

Continuando con el ejemplo, asumiendo que al usuario CE0001 le corresponde un consumo promedio horario de 85 litros/hora, se toma el valor medio de cada intervalo, y se obtienen los caudales mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12. Caudales característicos para cada intervalo, correspondiente al usuario CE0001.

RANGO COEF. MODULACIÓN	0,01 a 0,29	0,30 a 0,59	0,60 a 0,89	0,90 a 1,19	1,20 a 1,49	1,50 a 1,79	1,80 a 2,19	2,20 a 2,49	2,50 a 2,69	2,70 a 2,99	3,00 a 3,29	3,30 a 3,59	3,60 a 3,89	3,90 a 4,19	4,20 a 4,49	4,50 a 4,79	> 4,80
Valor medio	0.15	0.45	0.75	1.05	1.35	1.65	1.95	2.35	2.65	2.85	3.15	3.45	3.75	4.05	4.35	4.65	5.00
Q (l/hora)	13	38	64	89	115	140	166	200	225	242	268	293	319	344	370	395	425

5. Si bien los porcentajes de distribución obtenidos en el paso 3 se calculan respecto al período de tiempo total con registros, a fin de simplificar el cálculo, se asumen como representativos de la modulación diaria del usuario, es decir que, por ejemplo, los resultados expuestos sobre el usuario CE0001, en la Figura 52 y en la Tabla 12, pueden leerse de la siguiente manera:

- *durante aproximadamente 4.5 horas (19% del día) el usuario no registra consumo.*
- *durante aproximadamente 7.0 horas (28% del día) se registran consumos con un coeficiente de modulación que oscila entre 0.90 y 1.19, lo que supone una demanda media de 89 litros/hora.*

Con esta simplificación, se pretende tener una idea global del comportamiento del usuario en cuanto a los caudales de trabajo predominantes.

Es importante tener claro que demandas de agua a caudales muy elevados durante períodos de tiempo muy breve, pueden representar un gran porcentaje del volumen total consumido, mientras que una demanda permanente o durante una gran cantidad de horas, pero a caudales muy bajos, puede resultar poco relevante respecto al volumen total consumido.

6. Dicho esto, y asumiendo las simplificaciones comentadas, se puede calcular el volumen de agua consumido dentro de los distintos rangos de modulación, que se corresponden también con rangos de caudal.

Para el ejemplo del centro educativo CE0001 Los rangos de caudales surgen de multiplicar cada límite del rango de coeficientes de modulación horaria por el consumo medio horario del usuario, 85 litros/hora en este caso. El consumo medio característico de cada rango es el obtenido en el paso 4. El porcentaje de horas al día con consumos dentro de cada rango se obtiene como se indica en el paso 5.

Luego, el volumen consumido en cada intervalo surge de multiplicar el caudal medio característico por el porcentaje de horas al día con esa demanda.

$$Vol_i = Q_m \times \%_h \times 24 \text{ horas [litros]} \quad (9)$$

Donde:

i: de 1 a 17 (intervalos propuestos)

$Q_m$ : caudal medio característico de cada intervalo (litros/hora)

$\%_h$ : porcentaje de horas con consumo dentro de cada intervalo (%)

Finalmente, se obtiene la distribución del volumen consumido, para cada rango de caudal, expresado en porcentaje respecto a la demanda total diaria.

En la Tabla 13 se muestra los resultados obtenidos para cada rango adoptado.

Tabla 13. Cálculo de la distribución de caudales de trabajo para el usuario CE0001.

Rango de coeficientes de modulación	0,01 a 0,29	0,30 a 0,59	0,60 a 0,89	0,90 a 1,19	1,20 a 1,49	1,50 a 1,79	1,80 a 2,19	2,20 a 2,49	2,50 a 2,69	2,70 a 2,99	3,00 a 3,29	3,30 a 3,59	3,60 a 3,89	3,90 a 4,19	4,20 a 4,49	4,50 a 4,79	> 4,80	Total
Rango de caudales (litros/hora)	0.85 a 24.6	24.7 a 50.1	50.2 a 75.6	75.7 a 101	102 a 127	128 a 152	153 a 186	187 a 212	213 a 229	230 a 254	255 a 279	280 a 305	306 a 331	332 a 356	357 a 382	383 a 407	> 407	-
$Q_m$ : consumo medio característico para cada rango (lts/hora)	13	38	64	89	115	140	166	200	225	242	268	293	319	344	370	395	425	-
$\%_h$ : porcentaje de horas al día con cada rango de consumo	19%	11%	8%	28%	3%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	1%	81%
Voli: Volumen consumido en cada rango (litros)	59	98	119	607	75	60	71	79	79	85	67	58	39	39	24	24	125	1708
% Volumen respecto al total diario	3%	6%	7%	36%	4%	4%	4%	5%	5%	5%	4%	3%	2%	2%	1%	1%	7%	100%

7. Teniendo en cuenta que uno de los objetivos planteados en el desarrollo de esta metodología es la evaluación de la sensibilidad de los contadores según su calibre, la visualización de los resultados obtenidos en el punto 6 no se considera apropiada, ya que los rangos de caudal adoptados no permiten identificar con claridad si el volumen consumido está próximo a los límites de sensibilidad del contador instalado.

Por esta razón, se propone como último paso, reordenar los resultados utilizando intervalos de caudal compatibles con los parámetros metrológicos del instrumento de medición, a fin de visualizar claramente cuán cerca o lejos están los volúmenes consumidos de estos límites que definen la sensibilidad de medición del contador.

En esta instancia, vale la pena detenerse para comentar algunos aspectos relacionados a las exigencias metrológicas de los contadores.

Para poder evaluar la fiabilidad de un contador es fundamental el conocimiento de la curva de error del mismo. Diferente normativa internacional, tal como ISO 4064:2005, EN 14154 y la recomendación OIML R-49:2006, dedican especial atención a los requerimientos que debe cumplir esta curva, dividiendo los rangos de caudales en dos bandas,  $\varepsilon_1$  cuyo error máximo permitido es del 5% y  $\varepsilon_2$ , con un error máximo permitido del 2%. Por otra parte, existen diferentes parámetros que definen la capacidad metrológica de un contador y que se describen a continuación (Arregui de la Cruz, et al., 2007).

- Caudal de arranque ( $Q_a$ ): parámetro de difícil determinación. Se puede entender como aquel valor de caudal para el cual el contador comienza a moverse, o bien como el caudal mínimo que mantiene un contador en movimiento.
- Caudal mínimo ( $Q_{\min}$  o  $Q_1$ ): valor mínimo de caudal en el que el contador funciona dentro del error máximo permitido  $\varepsilon_1$ .
- Caudal de transición ( $Q_t$  o  $Q_2$ ): valor situado entre el caudal permanente y el caudal mínimo, que divide todo el rango de caudales de funcionamiento de un contador en dos zonas, cada una caracterizada por su propio error máximo permitido,  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$ .
- Caudal permanente ( $Q_p$  o  $Q_3$ ): denominado en ocasiones caudal nominal, es el valor máximo de caudal dentro de las condiciones nominales de funcionamiento, para el que se requiere que el contador funcione de una manera satisfactoria dentro del error máximo permitido.
- Caudal de sobrecarga ( $Q_s$  o  $Q_4$ ): también denominado caudal máximo, es un valor de caudal para el cual el contador puede funcionar de forma excepcional durante cortos períodos de tiempo manteniendo el error de medición dentro de los valores máximos permitidos y recuperando su funcionalidad cuando posteriormente, retorna a las condiciones normales de operación.

En la Figura 53 se indican los caudales que definen la curva de error, dentro de los límites recomendados por la normativa.

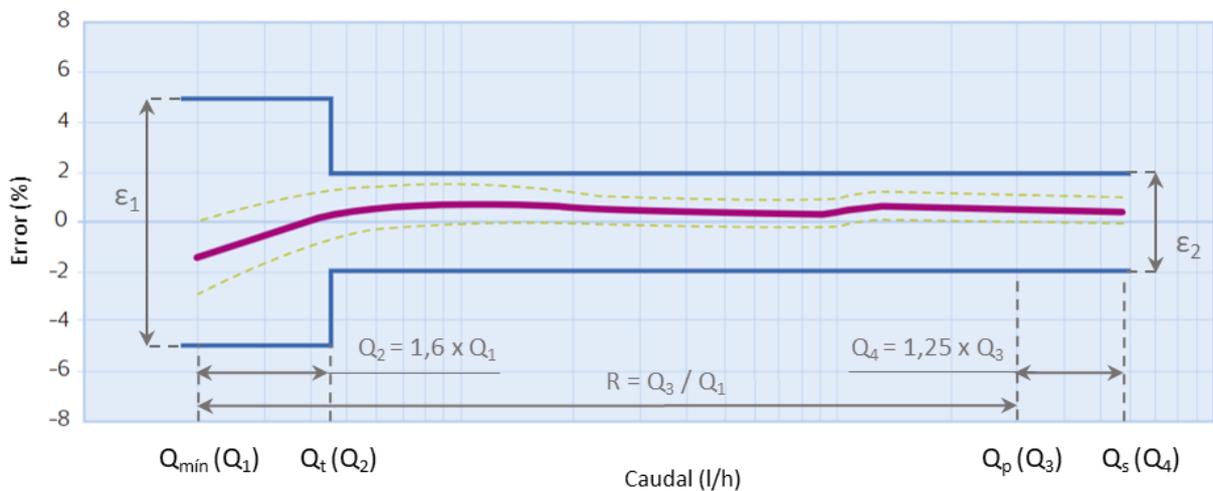


Figura 53. Curva de error en contadores de agua.

Habiendo mencionado los parámetros que definen la capacidad metrológica de un contador resulta interesante retomar los resultados obtenidos en el paso 6. La distribución del volumen consumido por el usuario CE0001, del ejemplo citado anteriormente, se muestra en la Figura 54, en función de los 17 rangos de caudal adoptados en primera instancia.

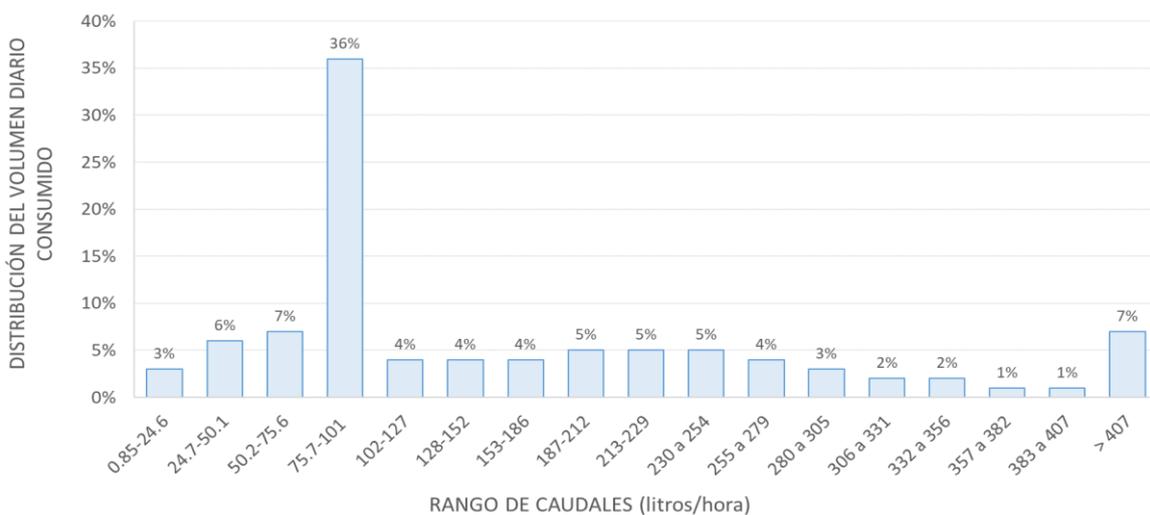


Figura 54. Distribución del volumen consumido por el usuario CE0001, rangos de caudal iniciales.

Esta gráfica no permite sacar conclusiones claras que relacionen el comportamiento del usuario con la calidad metrológica del contador. Por esto, los intervalos de caudal adoptados

deben ser ajustados, a fin de dejar en evidencia los parámetros citados con anterioridad. Para ello, es fundamental conocer el tipo de contador instalado, su calibre y clase metrológica.

Continuando con el ejemplo expuesto, el usuario CE0001 tiene un contador de calibre 25 cuyos caudales característicos son  $Q_1=0.04 \text{ m}^3/\text{hora}$  y  $Q_3=6.30 \text{ m}^3/\text{hora}$ . Tomando estos valores como referencia para definir los distintos intervalos de caudal, resulta la distribución del consumo mostrada en la Figura 55.

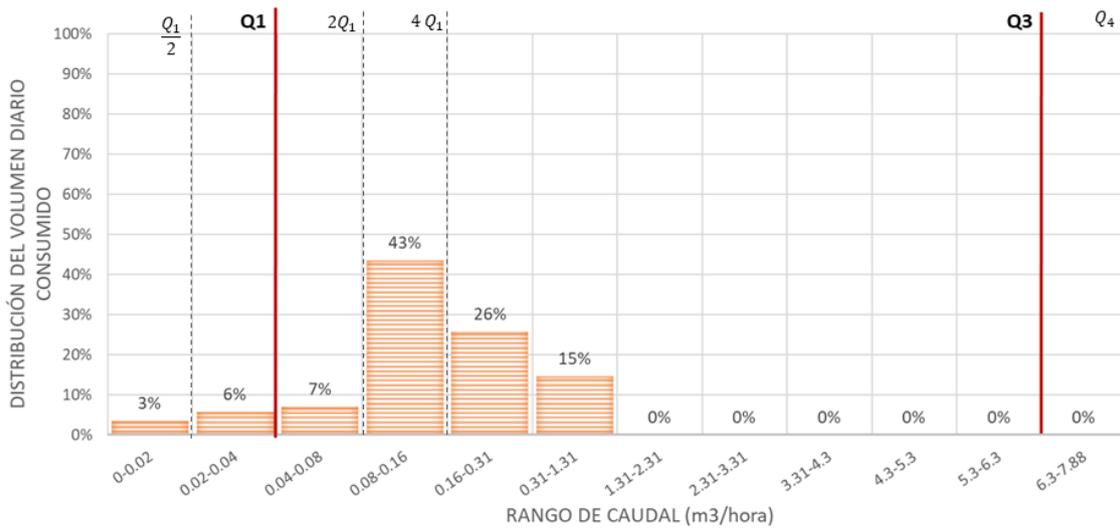


Figura 55. Distribución del volumen consumido por el usuario CE0001, contemplando  $Q_1$  y  $Q_3$  en los intervalos de caudal.

De esta manera, es posible identificar rápidamente si la demanda de agua del usuario se da a rangos de caudal muy próximos a los límites de sensibilidad del contador.

Con esto concluye la metodología de procesamiento de los datos propuesta, cuya utilidad se explica en detalle en el siguiente capítulo, de identificación de incidencias.

#### 4.3.2. Lecturas en alta frecuencia

Si la frecuencia de medición de los datos se modifica, es posible que la distribución del volumen de agua consumido por rangos de caudal también sufra variaciones, mostrando valores más próximos al comportamiento real del usuario. Frente a esta hipótesis se propone repetir la metodología detallada en el apartado anterior, utilizando lecturas de consumos con frecuencias mayores a la horaria, a fin de obtener un orden de magnitud de estas posibles variaciones, tanto en la distribución del volumen consumido, como en los coeficientes punta.

Se seleccionan 8 centros educativos y se instalan equipos de medición en alta frecuencia, conocidos en el mercado como equipos registradores o *dataloggers*.

Se trata básicamente de dispositivos electrónicos que registran datos por medio de sensores propios o conectados externamente y cuentan con comunicaciones *IoT* capaces de enviar datos y alarmas. En este caso, se los vincula a los contadores de agua ya instalados y permanecen registrando los consumos de cada usuario durante aproximadamente un mes.

Los equipos están programados para registrar datos o *pulsos* cada un minuto. Aprovechando esta frecuencia, se plantean dos escenarios de análisis para cada usuario, en primer lugar, para períodos de 10 minutos, y luego para una frecuencia de 2 minutos. En ambos casos se debe hacer una preparación previa de los datos, convirtiendo los pulsos registrados a caudal medio, en litros por hora. A partir de allí, se procede de la misma manera que para en análisis de datos horarios, siguiendo los siete pasos descritos anteriormente.

Se comienza calculando el coeficiente de modulación para cada período, de 10 y 2 minutos, luego se agrupan los resultados utilizando los mismos intervalos o rangos de valores adoptados para los coeficientes horarios. Por otra parte, se calcula el consumo medio para cada día con registro en alta frecuencia.

Asumiendo las mismas simplificaciones que para el caso de consumos horarios, se usa la distribución de los coeficientes de modulación, en porcentajes, y el consumo medio de cada escenario, para obtener la distribución del volumen consumido según los rangos de caudal adoptados en primera instancia. Finalmente se reordenan los resultados contemplando los rangos de caudal definidos por los parámetros metrológicos del contador instalado.

Unificando el formato para la visualización de los resultados obtenidos para consumos horarios, cada diez y dos minutos, se puede identificar si existe algún tipo de variación relevante asociada a la frecuencia de los datos. En la Figura 56 se muestra la distribución del volumen diario consumido por rango de caudales, obtenida para cada frecuencia de medición, correspondientes a uno de los centros educativos analizados, identificado como CE0002. Éste, tiene un contador de calibre 40, cuyos caudales  $Q_1$  y  $Q_3$  se identifican en la misma gráfica.



Figura 56. Variación de la distribución del volumen diario consumido por rango de caudales según la frecuencia de registro de los datos. Usuario CE0002.

Otra observación interesante que resulta de este estudio es la variación de los coeficientes de modulación a partir de la frecuencia de medición de los datos. Mientras que para lecturas

horarias la curva de modulación se plantea con cierta laminación, al reducir el período de registro de los datos, aparecen picos que se acercan más al comportamiento real del usuario.

La Figura 57 muestra los resultados obtenidos para cada frecuencia de datos analizada, del usuario CE0002. Las barras representan el consumo medio registrado, con escala sobre el eje vertical izquierdo, y la curva grafica los coeficientes de modulación para cada intervalo de tiempo, con su escala sobre el eje vertical derecho.

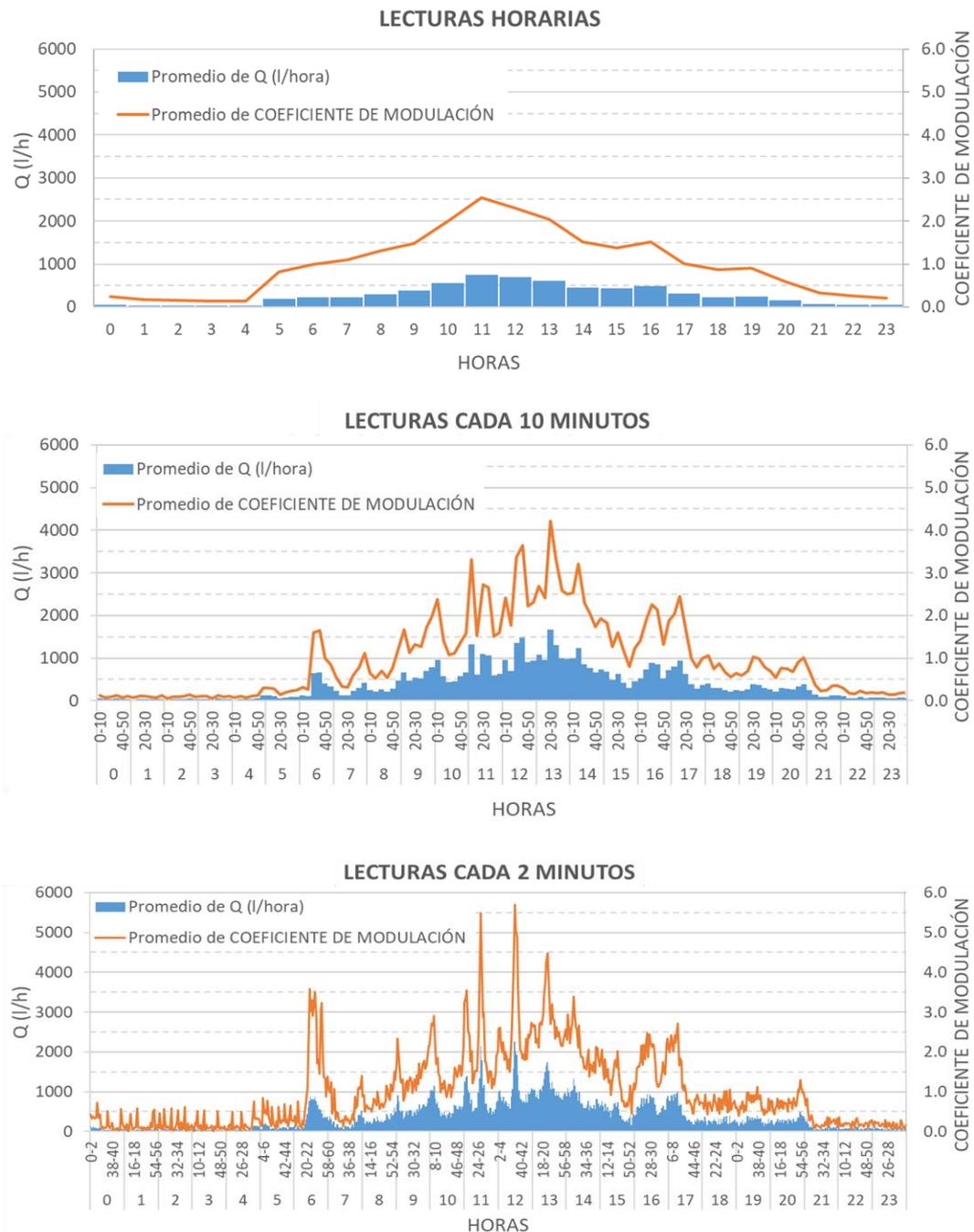


Figura 57. Variación de la curva de modulación promedio durante días lectivos según la frecuencia de los datos. Usuario CE0002.

A la hora de predimensionar una instalación, puede ser interesante conocer el orden de magnitud del incremento de los coeficientes de modulación máximos al adoptar frecuencias de lecturas mayores a la horaria.

Para esto, se toman los ocho usuarios de los que se disponen lecturas en alta frecuencia y se calcula la relación que existe entre su coeficiente punta horario y el correspondiente a otros intervalos de tiempo menores. En este caso, además de las frecuencias comentadas anteriormente de 2 y 10 minutos, se analiza otra intermedia tomando las lecturas de datos cada 30 minutos, a fin de tener otro punto que defina la tendencia de este incremento.

Cabe aclarar que no se toma el valor máximo absoluto, sino que se promedian los tres coeficientes máximos de la curva de modulación promedio diaria de cada usuario, para cada frecuencia considerada. Se obtienen así los resultados expuestos en la Figura 58.

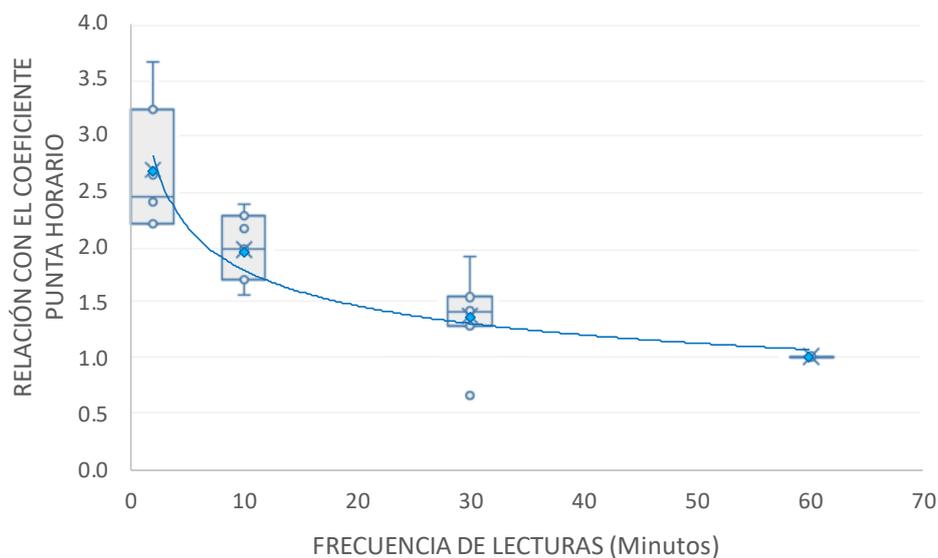


Figura 58. Relación entre el coeficiente punta horario y otros de intervalos de tiempo menores.

#### 4.3.3. Discusión de resultados

Los ejemplos expuestos son representativos de los resultados obtenidos en los 8 casos analizados. Observando la Figura 56, la distribución del volumen diario consumido por cada usuario se desplaza hacia rangos de caudales mayores, es decir hacia la derecha, cuanto mayor es la frecuencia de registro de los datos. Esto cobra importancia en aquellos casos en que el volumen consumido se encuentra próximo al caudal límite de sensibilidad del contador, ya

sea el caudal mínimo  $Q_{10}$  el caudal permanente  $Q_3$ . Lo que en principio supone un sobredimensionado del contador, como en el caso del ejemplo citado, puede resultar una interpretación equivocada de los resultados si la frecuencia de medición de los datos no es la adecuada para reproducir con suficiente precisión el comportamiento real del usuario. Si en cambio, la distribución del volumen consumido se encontrara próxima al caudal permanente ( $Q_3$ ), es posible que incrementando la frecuencia de los datos la situación resulte en realidad más crítica que la expuesta con datos horarios.

Concretamente, en la Figura 56, una primera apreciación de la distribución obtenida mediante las lecturas horarias es que el contador instalado podría estar sobredimensionado, ya que el volumen de agua consumida se registra para rangos de caudal muy próximos al caudal mínimo  $Q_1$ . Sin embargo, al reducir el intervalo de tiempo entre lecturas, esta distribución se aleja del límite inferior de sensibilidad del contador. Asumiendo que esta situación es más representativa del comportamiento real del usuario, se interpreta que el error de medición estaría dentro de los valores máximos permitidos.

Por otra parte, haciendo un análisis análogo sobre los coeficientes de modulación máximos, la Figura 57 muestra la curva de modulación durante días lectivos para en centro educativo CE0002, construida a partir de los registros horarios, cada 10 y 2 minutos. A medida que aumenta la frecuencia de medición de los datos, el valor de los coeficientes punta asciende. Para el caso de datos horarios, el coeficiente punta se da al mediodía y toma un valor de 2.5, mientras que para intervalos de tiempo de medición de 10 y 2 minutos, llega a 4.2 y 5.6 respectivamente. Si bien estos incrementos se mantienen durante un período de tiempo más acotado, puede resultar interesante considerarlo, por ejemplo, a la hora de predimensionar una nueva instalación.

Para evaluar la magnitud del incremento de los coeficientes de modulación máximos, se toma el promedio de los tres valores máximos de cada curva de modulación promedio diaria correspondiente a cada escenario analizado, y se calcula la relación entre éste y el coeficiente máximo horario. Tal como muestra la Figura 58, de los 8 casos estudiados, los coeficientes punta para una frecuencia de 10 minutos, llegan a valores prácticamente un 100% superiores a los obtenidos con lecturas horarias. Si en cambio, se pretende estimar el coeficiente de modulación punta para frecuencias superiores, por ejemplo de 2 minutos, se debe multiplicar el coeficiente máximo horario por un valor comprendido entre 2.5 y 2.7.

Finalmente, es importante mencionar que, si bien el incremento en la frecuencia de toma de datos aporta información relevante sobre las variaciones en el consumo de agua, se debe considerar que puede suponer un volumen de información y una inversión de recursos que, al menos en la actualidad, no resulten rentables. Quizás, sin llegar a lecturas de consumo cada un minuto, puede evaluarse la factibilidad de optimizar los intervalos de tiempo de las lecturas, a fin de acercarnos cada vez más al registro del comportamiento real de los usuarios de una red.

## 5. IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS

Al inicio de este trabajo se destaca la importancia de transformar las lecturas de consumo de agua en información y conocimiento que permita darles un uso efectivo. Concretamente, se trata de convertirlas en elementos que den soporte a la toma de decisiones en la gestión diaria de los abastecimientos.

En este capítulo se comentan algunas de las posibles utilidades de las pautas de consumo y las metodologías de análisis propuestas en la fase de caracterización de los usuarios no residenciales incluidos en este trabajo. Aunque con frecuencia son utilizadas para la creación de modelos teóricos de simulación y optimización de redes de abastecimiento, en este caso se propone usarlas para la identificación de incidencias, utilizando los patrones elaborados como elementos de control continuo de las lecturas de consumo recibidas.

Además, se exponen ejemplos reales donde se han podido identificar distintos tipos de anomalías. Se toman usuarios que no han sido empleados en la fase de caracterización, y se procede a procesar los datos de consumo almacenados obteniendo, por ejemplo, su curva de modulación diaria y la dotación media, para luego contrastarla con las pautas de consumo definidas en el capítulo anterior. Por otro lado, se les aplica la metodología para determinar la distribución del volumen consumido y se analiza la capacidad metrológica según los parámetros propios de los contadores instalados.

Finalmente, se comentan otras aplicaciones, que no son verificadas en este trabajo, pero dan idea de la diversidad de usos que supone un procesamiento adecuado de los datos almacenados por los abastecimientos.

### 5.1. Fugas y consumos anómalos

La disponibilidad de pautas de consumo de agua, combinada con una monitorización eficiente de la red de abastecimiento, permite identificar situaciones anómalas en las que el comportamiento del usuario no es el esperado, dando lugar a la implementación de medidas correctivas más eficientes, mejorando los niveles de servicio.

El procedimiento se basa en la comparación permanente de los consumos registrados con los patrones definidos como característicos del usuario, según la actividad que desarrolla o la categoría asignada previamente. De este modo, es posible identificar, la existencia de fugas

en la instalación interna del abonado, consumos no autorizados, registros no esperados de consumo nulo, entre otros.

A continuación, se cita un caso de identificación de fugas a partir de la curva de modulación diaria y semanal.

### 5.1.1. CASO 1: Detección de fugas mediante el uso de pautas de consumo

Las anomalías detectadas corresponden a un colegio de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato de titularidad pública, con alrededor de 550 alumnos (CEICE, 2019). El usuario dispone de un contador general calibre 40 conectado a un sistema de telelectura cuyo registro tiene una frecuencia horaria. En la Tabla 14 Tabla 14. Detalles CASO 1 de identificación de incidencias se resumen las características del caso analizado.

Tabla 14. Detalles CASO 1 de identificación de incidencias.

IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS	CASO 1
Usuario	CE0003
Grupo	I (CENTROS EDUCATIVOS)
Categoría	Colegios e Institutos
Descripción	ESO y Bachillerato
Titularidad	Pública
Cantidad de alumnos	550
Calibre del contador	40
Frecuencia de Lecturas	Horaria
Caudal Medio Diario	459 litros/hora

#### 5.1.1.1. Metodología de análisis

A fin de reducir el volumen de datos a procesar, se toman los últimos tres meses de lecturas y se calcula la dotación media para días lectivos y no lectivos, considerando la cantidad de alumnos mencionada. Luego, se confecciona la curva de modulación promedio diaria, considerando sólo días lectivos. Finalmente, se obtiene la curva de modulación semanal.

Los criterios de cálculo de las dotaciones y confección de las curvas de modulación son los mismos que los descritos en el capítulo sobre la caracterización del consumo de este trabajo,

con la salvedad de aplicarse sobre la totalidad de la base de datos original, sin eliminar ningún valor.

La única verificación previa que se hace tiene que ver con la cantidad de datos considerada para el análisis. Simplemente se corrobora que las lecturas disponibles en el período considerado para el análisis (tres últimos meses) sean suficientes. Para esto se usa uno de los criterios aplicados en la fase inicial de evaluación de calidad de datos, precisamente por el filtro FII, que exige la disponibilidad de al menos 20 lecturas mensuales.

### 5.1.1.2. Resultados

Una vez obtenidos los elementos que caracterizan al usuario CE0003 se los compara con las pautas de consumo definidas para la categoría “Colegios e Institutos” del Grupo I. A continuación, se muestran los resultados.

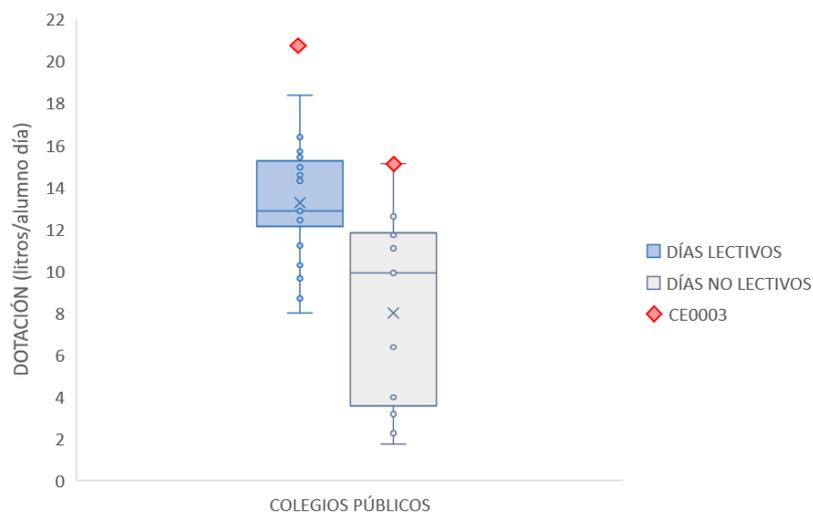


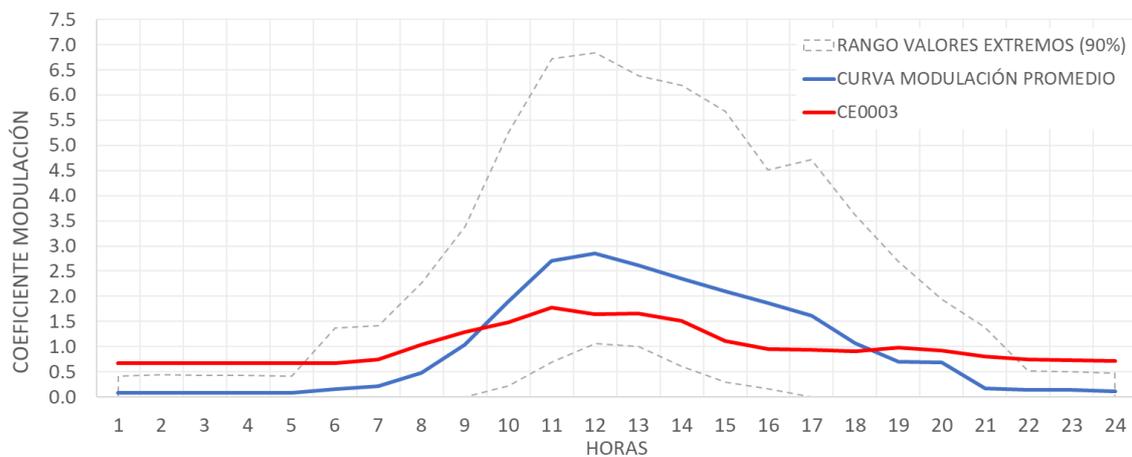
Figura 59. Comparación entre dotaciones características de la categoría "Colegios e Institutos" públicos y las correspondientes al usuario CE0003.

Tal como muestra la Figura 59, la comparación entre las dotaciones del usuario CE0003 y las obtenidas en la fase de caracterización para la categoría “Colegios e Institutos”, en este caso de titularidad pública, da indicios de que los consumos del centro educativo CE0003 son algo superiores a los esperados. Sin embargo, no es posible sacar conclusiones determinantes al respecto ya que, como se menciona en la discusión de resultados del Grupo I, las dotaciones características propuestas son apenas valores orientativos. Por esto es necesario utilizar otras pautas de consumo para verificar la hipótesis planteada.

Se propone entonces contrastar las curvas de modulación diaria y semanal, prestando especial atención a los períodos sin actividad, es decir, horas nocturnas durante días lectivos y fines de semana.

Para tomar magnitud de las posibles desviaciones respecto al comportamiento esperado del usuario CE0003 se calcula el grado en que la curva de modulación se aleja de los límites del rango de valores extremos indicados en cada figura. Este desvío, como se observa en la tabla que acompaña la siguiente gráfica, sólo se calcula para aquellos casos en que la curva de modulación del centro educativo en análisis queda por fuera del intervalo de confianza del 90%.

Como se observa en la Figura 60 y la Figura 61, durante los períodos sin actividad la curva de modulación media correspondiente al usuario CE0003 no logra ajustarse al intervalo de confianza del 90% definido en la fase de caracterización de la categoría "Colegios e Institutos". Con esto, queda en evidencia un caudal permanente fugado dentro de las instalaciones del centro educativo.

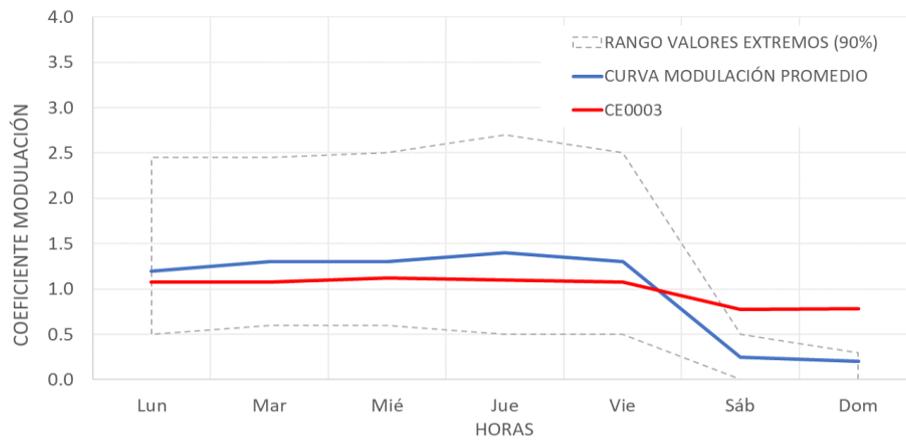


Máximo	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1.4	1.4	2.3	3.4	5.3	6.7	6.8	6.4	6.2	5.7	4.5	4.7	3.6	2.7	1.9	1.4	0.5	0.5	0.5
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>1.0</b>	<b>1.9</b>	<b>2.7</b>	<b>2.9</b>	<b>2.6</b>	<b>2.4</b>	<b>2.1</b>	<b>1.9</b>	<b>1.6</b>	<b>1.1</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.1	1.0	0.6	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>CE0003</b>	<b>0.7</b>	<b>1.0</b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>	<b>1.8</b>	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>	<b>1.5</b>	<b>1.1</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>						
Desvío	61%	54%	57%	58%	61%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42%	44%	51%

Figura 60. Comparación entre la curva de modulación diaria característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0003.

El desvío calculado pretende simplemente dar un orden de magnitud de la diferencia entre el comportamiento real de usuario y el esperado, según su categoría. Se obtiene relacionando

el valor propio de su curva de modulación promedio con el límite superior del intervalo de confianza del 90%.



Máximo	2.5	2.5	2.5	2.7	2.5	0.5	0.3
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>
Mínimo	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.0	0.0
<b>CE0003</b>	<b>1.1</b>	<b>1.1</b>	<b>1.1</b>	<b>1.1</b>	<b>1.1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>
Desvío	-	-	-	-	-	209%	681%

Figura 61. Comparación entre la curva de modulación semanal característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0003.

Para tomar magnitud de la fuga, sólo basta considerar, por ejemplo, los valores de los coeficientes de modulación durante el fin de semana y multiplicarlos por el caudal medio diario registrado. Esto es:

$$Q_f = C_{m_{no\ lectivo}} \times Q_{md} = 0.8 \times 459 \times 24 = 8813 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \quad (10)$$

Donde:

$Q_f$ : caudal fugado (litros/día)

$C_{m_{no\ lectivo}}$ : coeficiente de modulación en días no lectivos

$Q_{md}$ : caudal medio diario registrado (litros/día)

### 5.1.1.3. *Discusión de resultados*

Si bien, se debe considerar que el caudal fugado no puede considerarse constante a lo largo del día, sino que depende de la presión en la red, el cálculo realizado es válido para tomar dimensión de la fuga.

El caso analizado muestra una manera concreta y sencilla de utilizar las pautas de consumo propuestas en este trabajo y deja en evidencia la necesidad del monitoreo continuo de los usuarios conectados a una red de abastecimiento.

Es importante considerar que, en instituciones de titularidad pública normalmente el consumo de agua no es facturado, es decir, no lo pagan los gestores del centro, situación que admite una pérdida de eficiencia en el uso del recurso, asociada a la precarización en las operaciones de mantenimiento y consecuente deterioro de las instalaciones. Dicho esto, toma mayor relevancia el monitoreo sobre este tipo de usuarios, teniendo presente que una gestión eficiente del servicio no sólo se traduce en posibles beneficios económicos tanto para el abonado como para el abastecimiento, sino que también supone prácticas amigables con el medio ambiente que apuntan a optimizar el uso del recurso, disminuyendo el caudal no consumido o fugado.

En esta ocasión se informa a la compañía gestora sobre la incidencia detectada, quien procede a dejar registro de la anomalía en su sistema de información y extiende un pedido de medidas correctivas al equipo de inspección y mantenimiento de la red.

## **5.2. Dimensionado de contadores**

Cuando se realiza la selección de la tecnología de medición se busca maximizar el beneficio total neto que el contador genera durante su vida útil. En muchas ocasiones, se elige en función del precio de adquisición o a partir del error inicial esperado en las mediciones. Sin embargo, desde el punto de vista económico es aconsejable considerar diferentes aspectos relacionados tanto al abastecimiento como al abonado. Por mencionar algunos de éstos, usuarios con tasas de fugas potencialmente elevadas requieren contadores con mayor calidad metrológica. Sin embargo, el precio del agua, por ejemplo, puede condicionar la adquisición de equipos con mayor calidad metrológica. Por otra parte, las condiciones de instalación y funcionamiento suelen limitar la selección tanto el modelo como el calibre del contador.

Las pautas de consumo propias del usuario y las características constructivas de los aparatos son algunos de los parámetros que más afectan al comportamiento de los equipos de medición. Una medición adecuada requiere que el dimensionado del contador esté en función a la magnitud de los consumos. Por esto, el caudal circulante debe estar comprendido entre el caudal de transición ( $Q_2$ ) y el nominal ( $Q_3$ ).

Como se menciona en el apartado de distribución del volumen consumido por rangos de caudal, en el ámbito no doméstico es fundamental conocer las pautas de consumo que definen el comportamiento del usuario, ya que el calibre del contador debe seleccionarse por la capacidad del equipo, dada por su caudal nominal y no por el diámetro de la acometida.

A continuación, se exponen algunos ejemplos donde se identifican incidencias relacionadas a la tecnología de medición instalada, identificadas a partir del uso de los elementos propuestos en la fase de caracterización de este trabajo.

### 5.2.1. CASO 2: Detección de contadores con capacidad metrológica insuficiente.

#### Verificación mediante ensayo del contador

El siguiente caso se refiere a las incidencias identificadas en un colegio de educación primaria, de titularidad privada concertada, con 275 alumnos (CEICE, 2019). En la tabla Tabla 15 se detallan las características del caso en estudio.

Tabla 15. Detalles CASO 2 de identificación de incidencias.

IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS	CASO 2
Usuario	CE0004
Grupo	I (CENTROS EDUCATIVOS)
Categoría	Colegios e Institutos
Descripción	Educación Infantil y Primaria
Titularidad	Privado Concertado
Cantidad de alumnos	275
Calibre del contador	20
Frecuencia de Lecturas	Horaria

### 5.2.1.1. Metodología de análisis

Como en el caso anterior, se toman los últimos tres meses de lecturas del repositorio total de datos disponible, verificando que cada mes cuenta con al menos 20 registros diarios. Luego se calculan las dotaciones para días lectivos y no lectivos, la curva de modulación para días lectivos y la curva de modulación semanal. Posteriormente se la compara con las pautas de consumo definidas para la categoría “Colegios e Institutos” del Grupo I.

En esta ocasión, las interpretaciones que surgen de la comparación entre los resultados del usuario CE0004 y las pautas de consumo características de la categoría en estudio, son complementadas con una segunda fase de análisis para corroborar las conclusiones obtenidas.

Esta segunda parte consiste en la instalación de un equipo de medición en alta frecuencia, para tener mayor detalle de los consumos, con las mismas características que los descritos en el apartado de lecturas en alta frecuencia del capítulo anterior. En la Figura 62 se muestran los dispositivos instalados.

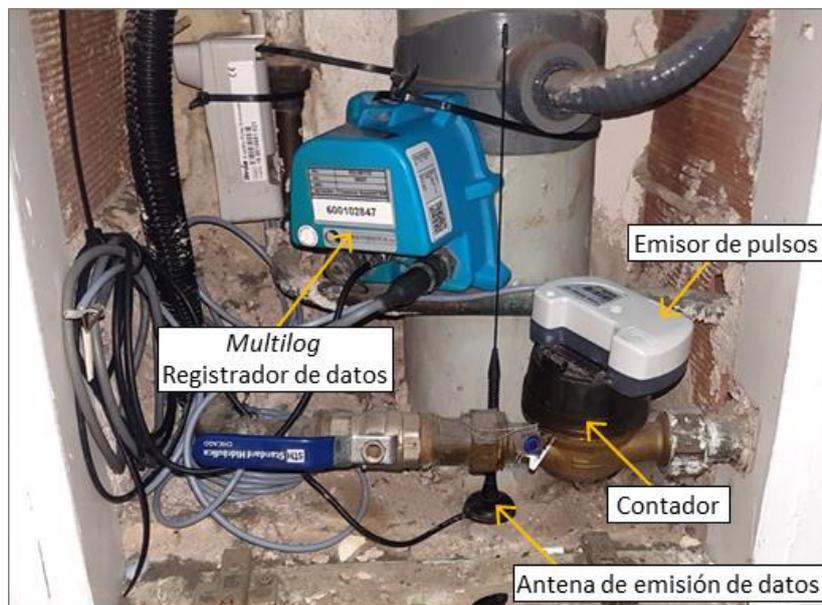


Figura 62. Equipo de medición en alta frecuencia instalado junto al contador del usuario CE0004.

Se programa el dispositivo para registrar lecturas cada 5 minutos, durante 20 días. Pasado este período se procede a analizar los datos obtenidos, confeccionando las gráficas de distribución del volumen consumido en rangos de caudal, siguiendo la metodología explicada con anterioridad.

Finalmente, se desmonta el contador para ensayarlo y determinar su curva de error.

### 5.2.1.2. Procedimiento de ensayo del contador

La determinación de la curva de error se hace mediante un ensayo que consiste en la comparación, para un caudal dado, entre el volumen registrado por el contador con el determinado por un patrón de mayor exactitud.

En este caso, se utiliza el banco de ensayo mostrado en la Figura 63, disponible en el laboratorio de hidráulica del Instituto Tecnológico del Agua, en el campus de la Universidad Politécnica de Valencia. El mismo utiliza como patrón dos depósitos de volumen conocido, que permiten ensayar hasta 5 contadores en serie para un rango amplio de caudales. Cuenta con una válvula de seccionamiento a la entrada del banco, manómetros hidráulicos a la entrada y salida de la línea de ensayo, un filtro, y tres líneas que derivan el caudal circulante a los distintos depósitos de control. Las dos primeras, utilizadas para ensayar caudales bajos y medios, tienen válvulas de regulación manual, y la tercera dispone de un contador volumétrico para caudales altos. Para mantener la presión durante el ensayo se utiliza un grupo de bombeo para caudales medios y altos y un calderín para los más bajos.

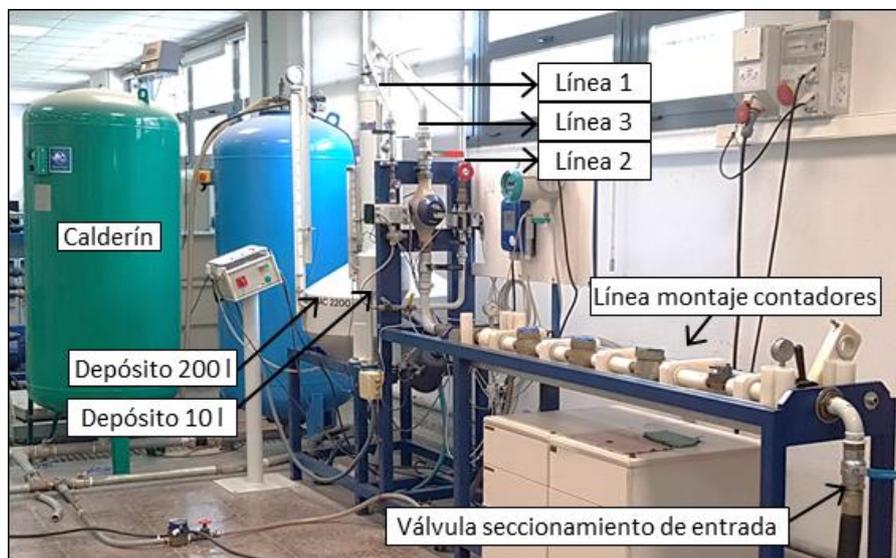


Figura 63. Banco de ensayo de contadores utilizado.

Los depósitos de control tienen una capacidad de 10 y 200 litros y están provistos con probeta para la medición del volumen almacenado. El primero de menor capacidad se usa para ensayar caudales bajos y el segundo para rangos medios y altos.

El procedimiento seguido se conoce como ensayo de error de contadores con lecturas tomadas en reposo. El primer paso es montar el contador sobre la línea de ensayo, luego de cerrar la válvula de seccionamiento ubicada aguas arriba del banco.

Una vez garantizada la estanqueidad de la línea, con ayuda de una palanca que permite ejercer fuerza y prensarla, ajustando las juntas de goma entre los tubos y el contador, se procede a purgar el aire que pueda existir en el interior de la instalación. Para ello se hace circular un caudal a través de la línea abriendo progresivamente la válvula de seccionamiento. Incrementando el caudal de paso se verifica que no existan fugas a lo largo de toda la línea, incluyendo las tres derivaciones a los depósitos. En este paso, se tiene especial cuidado en evitar un ingreso brusco de agua que pueda dañar el equipo a ensayar o modificar sus condiciones iniciales.

Posteriormente, se verifica que el calderín tenga presión suficiente, en caso contrario se ajusta hasta alcanzar el valor adecuado. Luego se cierran las llaves de paso por las líneas 2 y 3.

Una vez terminadas las tareas previas que ponen a punto el banco, se pone en marcha el ensayo propiamente, tomando la lectura del volumen totalizado inicial en el contador y se abre la válvula de regulación montada sobre la línea 1, que permite el paso de caudales bajos.

Una vez lleno el depósito de menor capacidad, se cierra una válvula automática y se procede a tomar lectura del volumen exacto almacenado, el tiempo transcurrido y el volumen final registrado por el contador.

Finalmente, se calculan los puntos que definen la curva de error del contador, de la siguiente manera:

$$Q_e = \frac{Vol_{ref}}{t} \left[ \frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right] \quad (11)$$

y,

$$\text{error} (\%) = \frac{(L_f - L_i) - Vol_{ref}}{Vol_{ref}} \times 100 \quad (12)$$

Donde:

$Q_e$ : caudal del ensayo

$Vol_{ref}$ : volumen de referencia registrado en el depósito de control, en litros

t: tiempo de duración del ensayo, en horas

error: error del contador para el caudal del ensayo, en porcentaje

$L_f$ : lectura final registrada por el contar al finalizar el ensayo

$L_i$ : lectura inicial totalizada por el contador antes de comenzar el ensayo

Este procedimiento se repite para diferentes caudales, habilitando las líneas 2 y 3, el depósito de mayor capacidad y el grupo de bombeo, según los requerimientos de cada caso.

La Tabla 16 muestra los caudales seleccionados para el ensayo. El primero corresponde al caudal de arranque definido por el fabricante, luego se toman los parámetros metrológicos propios del contador y algunos valores intermedios a fin de completar la curva de error.

Tabla 16. Caudales ensayados.

Orden	Q (litros/hora)
1	30
2	45
3	60
4	120
5	400
6	750
7	1500
8	3000

El ensayo se repite para los mismos caudales, pero ubicando el contador inclinado, a fin de verificar la influencia de la posición del mismo sobre la curva de error, tal como muestra la Figura 64.

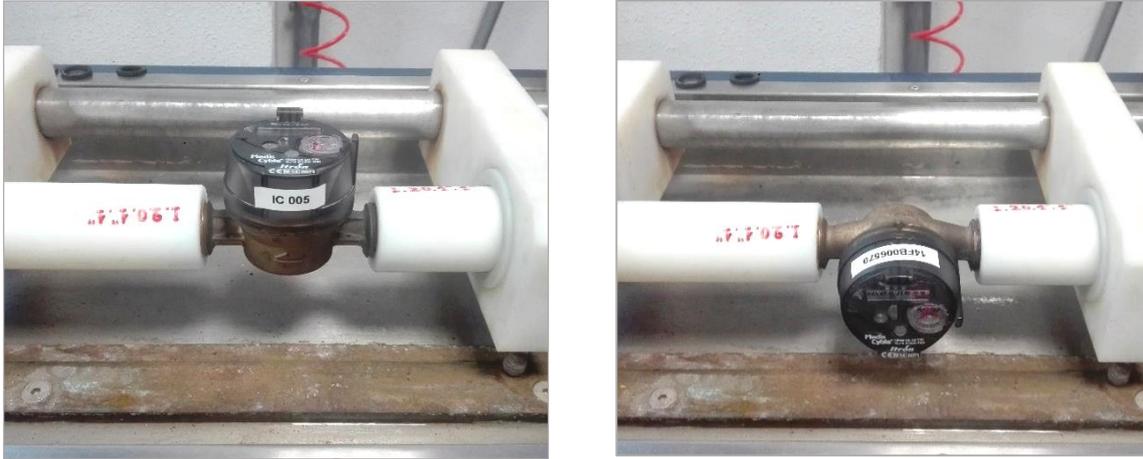


Figura 64. Posiciones de ensayo del contador. Usuario CE0004.

### 5.2.1.3. Resultados

De la primera fase de análisis se obtienen las dotaciones y curvas de modulación de usuario CE0004 y se las compara con las pautas de consumo de la categoría correspondiente.

La comparación entre curvas de modulación, no deja a la vista incidencia alguna ya que las correspondientes al usuario CE0004 se posicionan en su totalidad dentro del intervalo de confianza del 90%. Además de seguir la forma de las curvas promedio de la categoría en cuestión, en ambos casos se encuentran muy próximas a ésta.

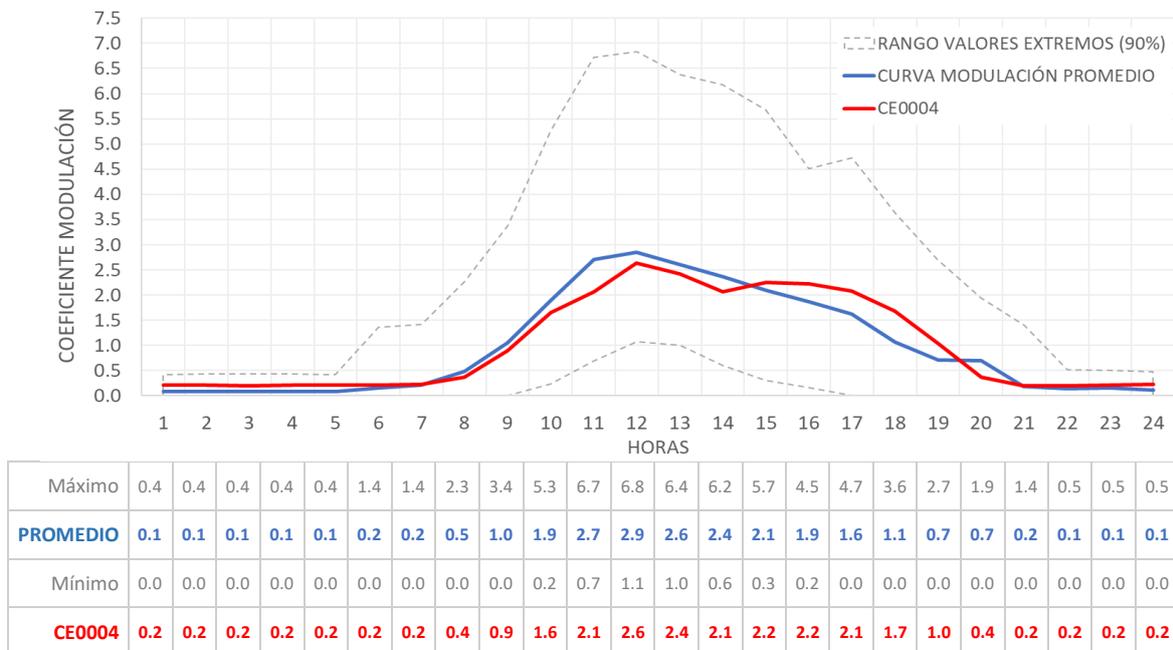
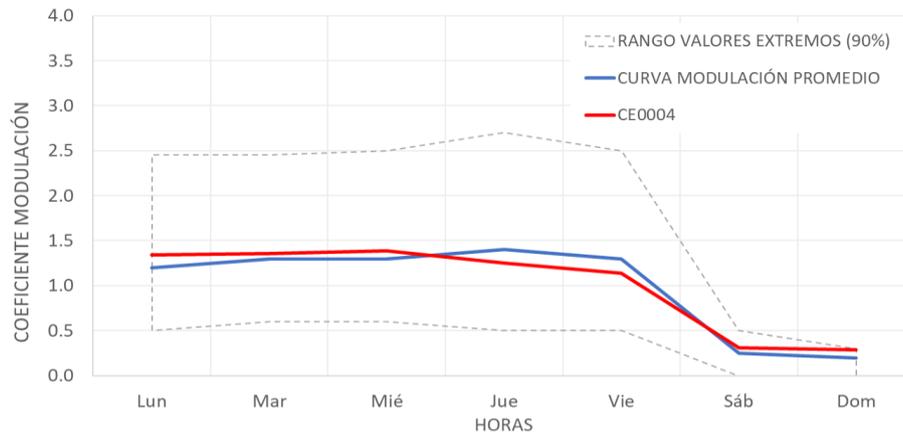


Figura 65. Comparación entre la curva de modulación diaria característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0004, para días lectivos.



Máximo	2.5	2.5	2.5	2.7	2.5	0.5	0.3
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>
Mínimo	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.0	0.0
<b>CE0004</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>

Figura 66. Comparación entre la curva de modulación semanal característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0004.

No obstante, al observar las dotaciones características para centros educativos privados y privados concertados, en días lectivos y no lectivos, frente a las calculadas para el usuario CE0004 queda en evidencia que el colegio registra consumos extremadamente inferiores a los esperados.

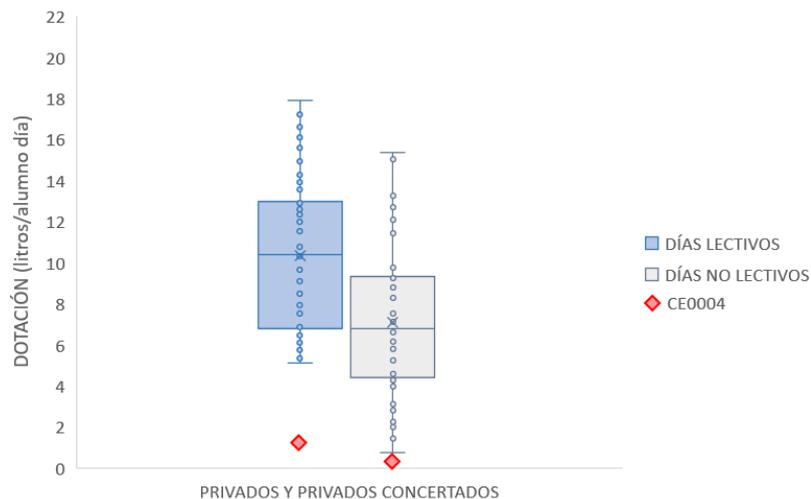


Figura 67. Comparación entre dotaciones características de la categoría "Colegios e Institutos" privados y privados concertados, y las correspondientes al usuario CE0004.

A partir de esto, se coordina en conjunto con el abastecimiento la segunda fase de análisis, a fin de aclarar las causas de la incidencia identificada.

En primer lugar, se instala el equipo de medición en alta frecuencia, que registra los consumos con un intervalo de tiempo de 10 minutos durante 20 días. Luego se procesan los datos para obtener detalles sobre la demanda de agua.

En la Figura 68 y la Figura 69 se muestran los resultados obtenidos al aplicar la metodología para la determinación de la distribución del volumen consumido en rangos de caudal, utilizando los datos horarios y las lecturas cada 10 minutos.

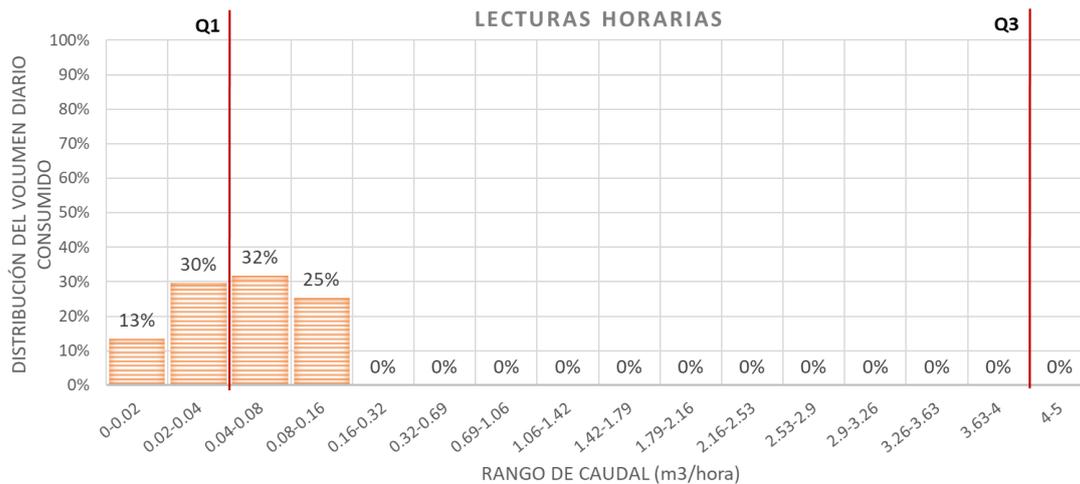


Figura 68. Distribución del volumen consumido por el usuario CE0004 utilizando datos horarios

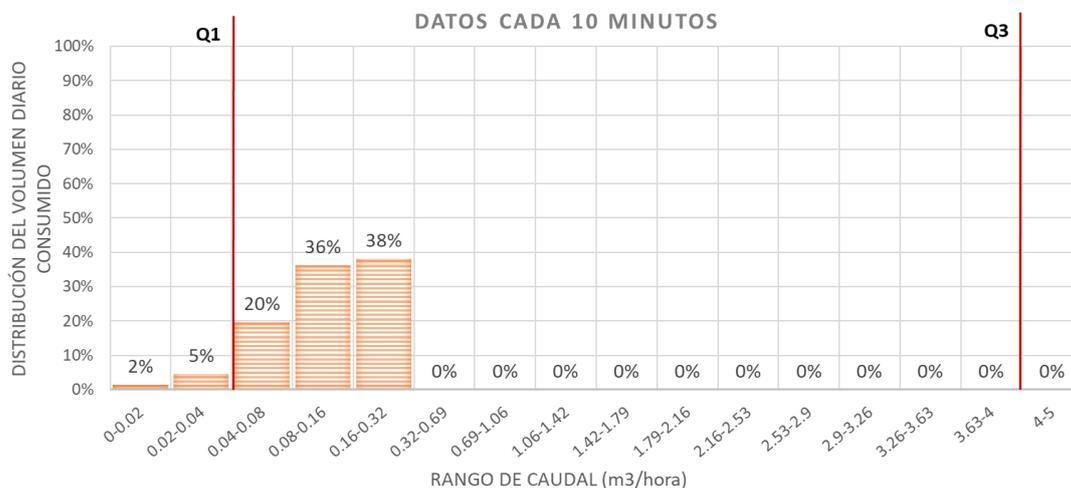


Figura 69. Distribución del volumen consumido por el usuario CE0004 con datos cada 10 minutos.

Posteriormente, los ensayos realizados sobre el contador, primero en posición horizontal y luego inclinado, arrojan las curvas de error mostradas en la Figura 70.

Los detalles del ensayo se encuentran en el Anexo III de este trabajo.

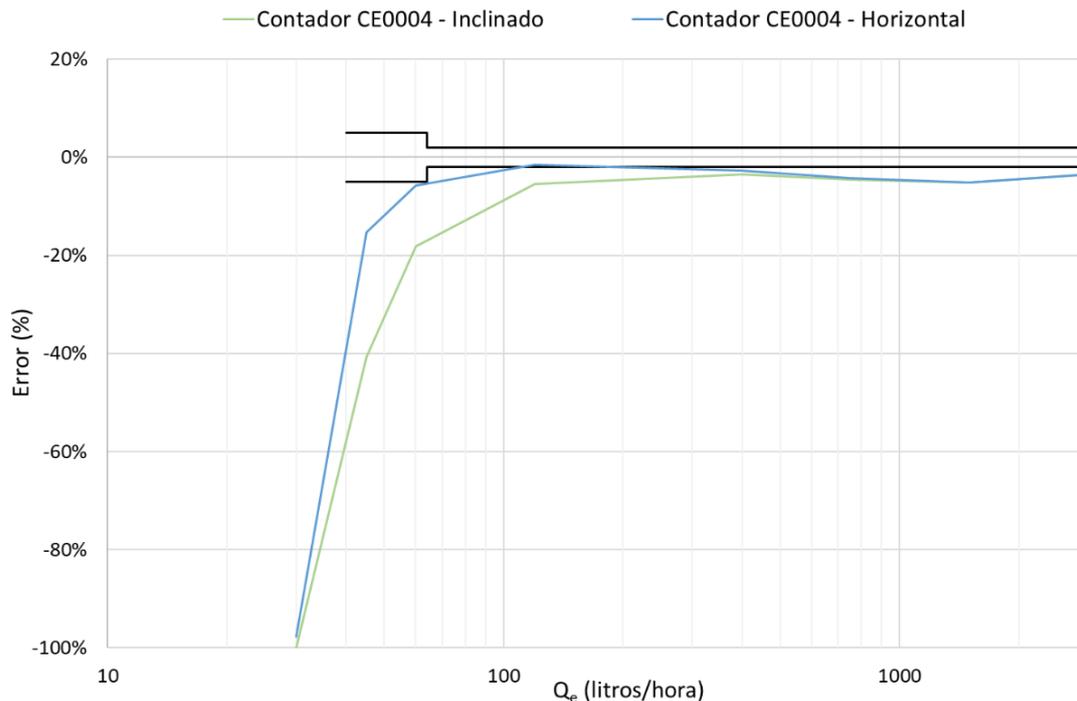


Figura 70. Resultados ensayo de curva de error del contador. Usuario CE0004

#### 5.2.1.4. *Discusión de resultados*

La interpretación de los resultados expuestos lleva a ratificar conclusiones del caso anterior, sobre la viabilidad de utilizar de metodologías sencillas para la detección de incidencias.

Adicionalmente, permite demostrar que la bondad de las pautas de consumo no reside en un uso aislado de las mismas, dejando a la vista que, para un monitoreo adecuado del comportamiento del usuario resulta esencial plantear un análisis que combine los distintos patrones propuestos.

Si bien, en este caso el análisis de las curvas de modulación no evidencia el problema, la inconsistencia detectada en las dotaciones deja claro la existencia de una situación anómala. En esta instancia, el registro de consumo extremadamente bajo observado en la Figura 67, donde la dotación durante días lectivos es de 1.3 litros por alumno, no puede vincularse con una causa específica. Es totalmente válido, en este punto, considerar la teoría de un fallo en el contador, o de una situación de fraude, por ejemplo. No obstante, la hipótesis de un caso de sobredimensionado no es considerada, por tratarse de un contador calibre 20.

La distribución del volumen diario consumido, obtenida en segunda fase de análisis, revela que un importante porcentaje del volumen diario consumido se da a caudales muy próximos

al límite inferior de medición, dado por el caudal mínimo ( $Q_1$ ), incluso para intervalos de medición de 10 minutos.

Finalmente, los resultados del ensayo del contador revelan que la capacidad metrológica ofrecida por el equipo no es compatible con el comportamiento del usuario en estudio. Tal como muestra la Figura 70, el error asociado a caudales bajos supera ampliamente los límites admisibles, siendo más crítico aun cuando el contador se encuentra inclinado.

### 5.2.2. CASO 3: Detección de contadores sobredimensionados mediante la distribución del volumen consumido

El último caso expuesto se trata de un colegio que ofrece todos los niveles educativos, es decir, educación infantil, primaria, secundario obligatorio y bachillerato. Tiene alrededor de 1300 alumnos y es de titularidad privada concertada (CEICE, 2019).

En la Tabla 17 se detallan las características del caso.

Tabla 17. Detalles CASO 3 de identificación de incidencias

IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS	CASO 3
Usuario	CE0005
Grupo	I (CENTROS EDUCATIVOS)
Categoría	Colegios e Institutos
Descripción	Educación Infantil, Primaria, ESO y Bachillerato
Titularidad	Privado Concertado
Cantidad de alumnos	1300
Calibre del contador	100
Frecuencia de Lecturas	Horaria

#### 5.2.2.1. Metodología de análisis

Para evaluar el comportamiento de este usuario se procede de la misma manera que en el Caso 1, tomando los datos correspondientes a los últimos tres meses de lecturas horarias y calculando la dotación y curvas de modulación.

Posteriormente se procesan los datos horarios mediante la metodología propuesta para la determinación de la distribución del volumen diario consumido. En esta instancia, queda en evidencia la posibilidad de que el contador se encuentre sobredimensionado, considerando que es de calibre 100.

Para verificar esta hipótesis se coordina con la empresa gestora la instalación de un equipo de medición en alta frecuencia, con las mismas características que los mencionados anteriormente, que se programa para registrar lecturas cada 1 minuto durante unos 20 días.

Pasado este período, se extraen los datos para el análisis y conclusiones finales.

### 5.2.2.2. Resultados

Como en los casos analizados con anterioridad, el comportamiento propio del usuario se compara con las pautas de consumo de la categoría correspondiente, definidas mediante las curvas de modulación para días lectivos, de la Figura 71, la curva de modulación semanal, mostrada en la Figura 72 y las dotaciones que se observan en la Figura 73.

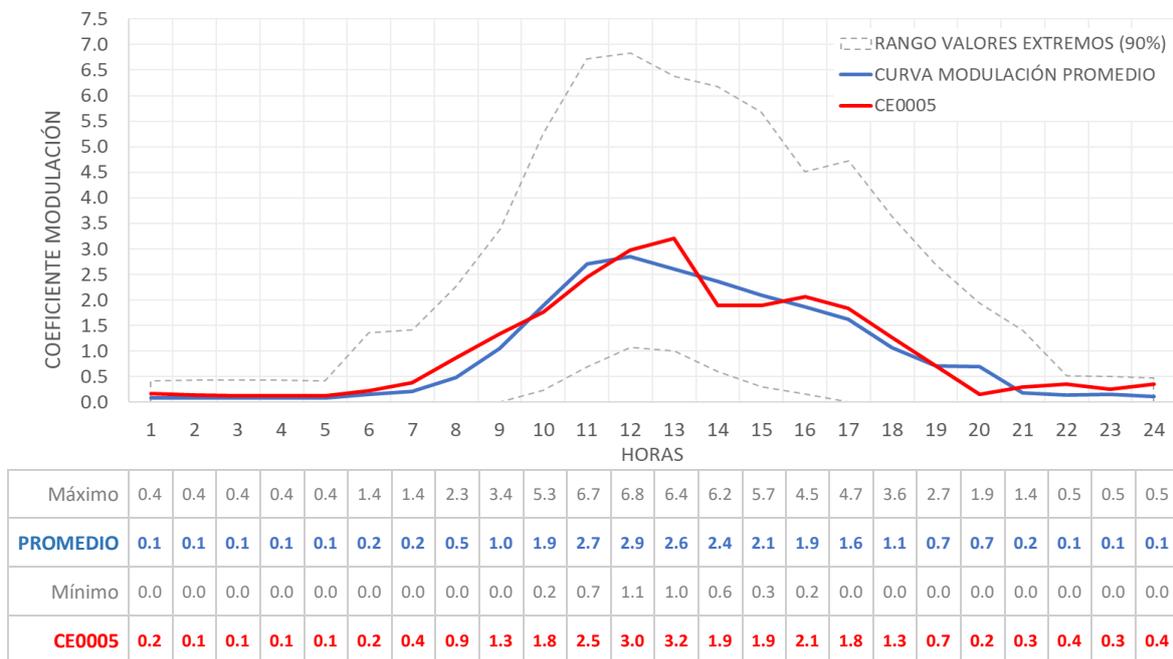
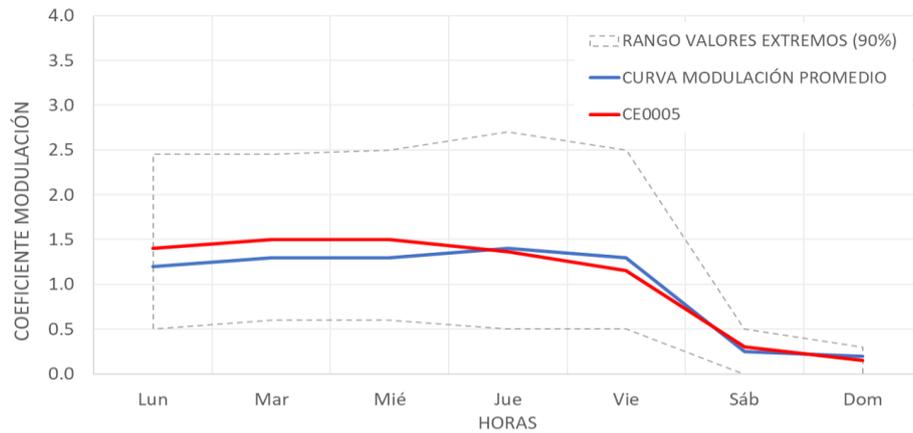


Figura 71. Comparación entre la curva de modulación diaria característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0005, para días lectivos.



Máximo	2.5	2.5	2.5	2.7	2.5	0.5	0.3
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>
Mínimo	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.0	0.0
<b>CE0005</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>1.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>

Figura 72. Comparación entre la curva de modulación semanal característica de la categoría "Colegios e Institutos" y la correspondiente al usuario CE0005.

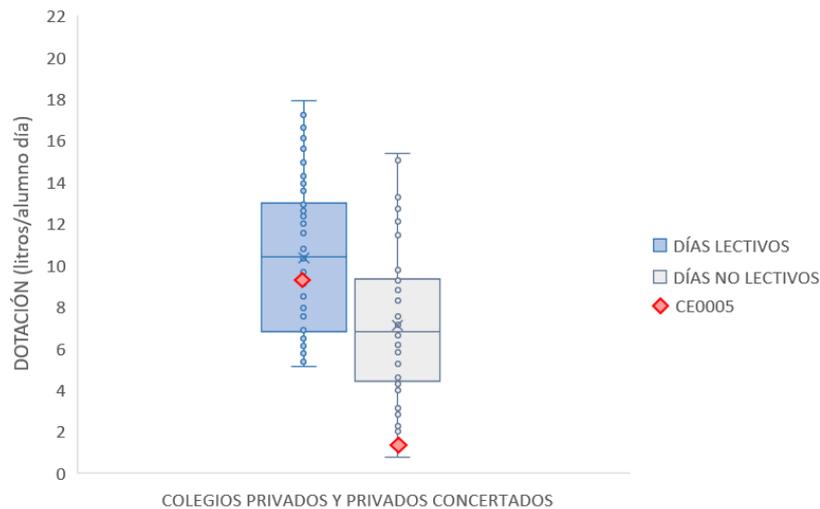


Figura 73. Comparación entre dotaciones características de la categoría "Colegios e Institutos" privados y privados concertados, y las correspondientes al usuario CE0005.

Luego, se completa el análisis con la distribución del volumen consumido por parte del usuario, utilizando las lecturas horarias de consumo. Finalmente, al considerar la posibilidad de un sobredimensionado del contador de calibre 100, se confeccionan las gráficas de distribución del volumen diario consumido por rango de caudales, a partir de los datos

registrados por el *datalogger* instalado, tomando intervalos de tiempo de 10 y 2 minutos, mostradas a continuación en la Figura 74 .



Figura 74. Distribución del volumen diario consumido por el usuario CE0005, a partir lecturas horarias, cada 10 y 2 minutos.

### 5.2.2.3. *Discusión de resultados*

Este último caso deja en evidencia una vez más la necesidad de combinar las distintas pautas de consumo disponibles para un correcto análisis e identificación de posibles incidencias.

La modulación del consumo y las dotaciones propias del usuario no evidencian desvíos relevantes respecto al comportamiento esperado, al contrastarlas con los patrones definidos para la categoría de Colegios e Institutos. En todos los casos se mantienen dentro de los rangos aceptables para este tipo de usuario, tal como muestra la Figura 71, Figura 72 y Figura 73.

Sin embargo, al revisar la distribución del volumen consumido, obtenida mediante el procesamiento de los datos horarios, surge la hipótesis de que el contador de calibre 100 se encuentre sobredimensionado, ya que casi el 30% del volumen registrado se da a caudales inferiores al límite admisible propio del contador.

Esta situación queda comprobada al reducir el intervalo de tiempo de las lecturas y reiterar el procesamiento de datos, obteniendo así una distribución del volumen que se acerca más al comportamiento real del usuario. En la Figura 74 se puede comprobar que, incluso tomando lectura cada 2 minutos, el 19% de la demanda sigue registrándose con caudales de consumo por debajo del valor mínimo admisible ( $Q_1$ ) del contador.

Con esto, queda en evidencia que la capacidad metrológica de la tecnología de medición instalada no es adecuada para registrar los consumos del usuario.

## **5.3. Sensibilidad de las técnicas propuestas**

El análisis de sensibilidad es un estudio cuantitativo o cualitativo de las relaciones que existen entre la información que entra y sale de un modelo, determinando los parámetros de entrada que más influyen en la variabilidad de la salida y que, por lo tanto, deben ser estudiados y analizados para fortalecer el modelo bajo estudio (Saltelli, et al., 2004).

Es importante diferenciar entre los conceptos de sensibilidad y especificidad. El primero es lo que se define como “tasa de verdaderos positivos” y se asocia a la capacidad del estimador o modelo para identificar como positivos aquellos casos que realmente lo son, mientras que la especificidad es la “tasa de verdaderos negativos” y se refiere a la capacidad de detectar como negativos los que verdaderamente son negativos. Las expresiones para cada caso serían:

$$Sensibilidad = \frac{VP}{VP + FN} \quad (13)$$

y,

$$Especificidad = \frac{VN}{VN + FP} \quad (14)$$

Donde:

VP: verdadero positivo

FN: falso negativo

VN: verdadero negativo

FP: falso positivo

Trasladando estos conceptos a la identificación de incidencias propuestas en este trabajo, cada elemento queda ilustrado en la Figura 75. **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

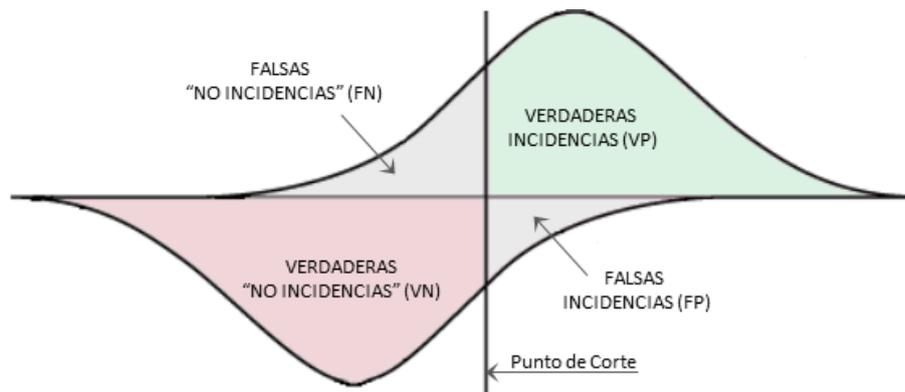


Figura 75. Sensibilidad y especificidad en la detección de incidencias.

En este apartado sólo se incluyen algunos comentarios que suponen un análisis cualitativo sobre la sensibilidad de las metodologías propuestas para la detección de incidencias en el consumo de agua.

### 5.3.1. Sobre la detección de fugas y consumos anómalos

Tal como se expone en el primer caso de estudio, la identificación de fugas o consumos anómalos (VP) mediante la utilización de curvas de modulación arroja una sensibilidad notablemente aceptable. Se considera que la probabilidad de detectar falsas incidencias (FP) es prácticamente nula para los grupos estudiados.

En este punto, la sensibilidad está relacionada a algunos de los criterios de aceptación de definidos en el capítulo de análisis de calidad de los datos. Recordando que para la confección de las pautas de consumo se validaron usuarios con consumos permanentes durante períodos sin actividad menores al 20% de su valor medio, éste definiría también el límite de sensibilidad del método. Por ejemplo, si se usan las curvas de modulación propuestas para una categoría determinada con el objetivo de detectar posibles fugas en un usuario, éstas quedarían en evidencia siempre que supongan un caudal permanente, durante los períodos sin actividad, superior al 20% de su consumo medio.

No obstante, en cuanto a las dotaciones, se considera que no suponen un elemento de control con gran sensibilidad para la detección de fugas y consumos anómalos. Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra analizada y la dispersión obtenida en los resultados, este tipo de incidencias sólo quedaría a la vista si se trata de un caso extremo.

### 5.3.2. Sobre el dimensionado de contadores

En cuanto a las técnicas aplicadas para la identificación de contadores con capacidad metrológica insuficiente sucede algo contrario al caso anterior. Aquí, el uso de curvas de modulación no aporta mayor sensibilidad al método, mientras que las dotaciones cobran cierta relevancia en la detección de este tipo de anomalías. Sin embargo, recordando que se plantea como un elemento de control de los consumos con ciertas limitaciones por tener una importante dispersión en sus resultados, sólo sirve para ocurrencias extremas, como la detallada en el Caso 2 expuesto en el apartado anterior de este mismo capítulo.

Por otra parte, la metodología propuesta para determinar la distribución del volumen consumido por rangos de caudales es otro elemento cuya utilidad se ha verificado en reiterados casos, tales como el Caso 3 del apartado anterior.

No obstante, existen variables que pueden tener un importante impacto sobre la sensibilidad de esta metodología. Por ejemplo, la frecuencia de las lecturas de consumo consideradas en el análisis es una variable con gran influencia sobre la identificación de este tipo de incidencias. Si no se selecciona adecuadamente puede llevar a interpretaciones equivocadas o falsos positivos (FP), es decir, identificar un contador como sobredimensionado cuando en realidad no lo está. El caso del usuario CE0002, citado en el capítulo anterior, ilustra esta situación mediante la Figura 56.

#### 5.4. Otras aplicaciones

Sólo por mencionar otras de las aplicaciones posibles de los elementos generados en el capítulo de caracterización de los usuarios no residenciales, la disponibilidad de pautas de consumo, en especial los coeficientes punta y las dotaciones características, facilita el predimensionado de nuevas conexiones y la selección de las tecnologías de medición a instalar, optimizando la vida útil de los activos y su mantenimiento predictivo. Conociendo los coeficientes de modulación máximos es posible hacer un dimensionado rápido y más preciso de una instalación, simplemente utilizando los datos con los que cuenta el abastecimiento, por ejemplo, las lecturas mensuales de consumo.

Por otra parte, los datos disponibles en la web, aun de naturaleza distinta a los repositorios de consumo de agua, podrían aprovecharse para verificar fallos en la medición o cambios importantes en el comportamiento de un usuario, tales como consumos nulos no esperados durante un período prolongado.

Conocer de manera más detallada las pautas de consumo es de gran utilidad a la hora de predimensionar nuevas conexiones e incluso de reconstruir fidedignamente los datos de consumo faltantes. Adicionalmente, las curvas de modulación diaria son incluidas en la modelación, gestión y optimización de redes de abastecimiento urbano. Su conocimiento hace posible mejorar la respuesta y las acciones a emprender (cierre de válvulas, operación de depósitos y bombas, etc.) frente a un potencial fallo en la red causado, por ejemplo, por una rotura de una tubería.

En relación a esto último, cabe mencionar que la fase de caracterización del consumo propuesta en este trabajo permite identificar con rapidez si un grupo de usuarios, definido por determinadas características en común, es o no modelable. Esto puede interpretarse como punto de partida para estudios posteriores de mayor complejidad, tales como modelos predictivos y completamiento de datos.

## 6. CONCLUSIONES

Los objetivos planteados al inicio de este proyecto han sido alcanzados con éxito, permitiendo afianzar los conocimientos adquiridos en el ámbito de la ingeniería hidráulica y la gestión de abastecimientos de agua urbana.

### *De la calidad de los datos*

El análisis de calidad de los datos de consumo ha sido parte fundamental del trabajo, dejando en evidencia la importancia de esta etapa preliminar ante cualquier uso que pueda plantearse de una base de datos masiva.

En la era de la digitalización, el volumen de datos disponibles en las compañías gestoras del servicio de agua potable sigue un crecimiento exponencial. Sin embargo, los esfuerzos y recursos invertidos en la medición y almacenamiento de datos perderán todo su sentido si no se garantiza una mínima calidad de los registros, definida en gran parte por el objetivo para el cual han sido concebidos. El procesamiento de datos, por más complejo que resulte, carecen de utilidad si la base de datos utilizada no ha pasado por una fase de depuración y evaluación exhaustiva, que garantice la bondad de los datos almacenados.

Los resultados del análisis de datos suponen un apoyo fundamental para la toma de decisiones, por esto, a fin de evitar interpretaciones equivocadas, resulta esencial que los abastecimientos tengan conocimiento de la calidad real de sus datos, y procuren una continua evolución de la misma.

Los criterios adoptados para determinar la calidad de los datos en este trabajo, basados en las características propuestas por la normativa internacional ISO/IEC 25012, se consideran apropiados y de interpretación sencilla para cumplir con los objetivos específicos posteriores de caracterización del consumo e identificación de incidencias.

Finalmente, se concluye que para un mayor aprovechamiento de las lecturas de consumo almacenadas se hace necesario disponer de otros datos complementarios que caractericen a los usuarios. Sin éstos, la utilidad de los registros de consumo se ve muy limitada.

## *De la caracterización de usuarios no domésticos*

La caracterización de usuarios no residenciales desarrollada en este trabajo se propone como punto de partida para un aprovechamiento integral de los datos que día a día almacenan los abastecimientos. Como se ha mencionado, las utilidades asociadas al procesamiento de los datos de consumo de agua son prácticamente infinitas.

La cantidad de variables que intervienen en el comportamiento de este tipo de usuarios deja en evidencia la complejidad al abordar su análisis. El nivel económico de la población, sus hábitos y costumbres, la ubicación del abonado dentro de la ciudad, la facturación o no del suministro de agua, son algunos de los aspectos que pueden tener gran influencia en el consumo de agua, además de las características propias de la actividad desarrollada por el usuario.

Los grupos analizados en este proyecto exponen diferentes escenarios que resultan muy interesantes en la búsqueda de técnicas adecuadas para análisis de los datos y determinación de las pautas de consumo de agua.

Los centros educativos, con una actividad temporalmente homogénea, dada en general por calendarios académicos definidos, suponen quizás uno de los grupos más sencillos para la determinación de pautas de consumo de gran utilidad, tal como se verifica en los casos de estudio expuestos.

El consumo de agua hoteles, si bien está ligado a las temporadas anuales, en general conocidas, depende en gran medida del nivel de desarrollo turístico de cada región, que se ve reflejado tanto en la diversidad de servicios ofrecidos como en el grado de ocupación. En este punto, intervienen más variables incrementando la complejidad del análisis. No obstante, los resultados obtenidos en este trabajo, referidos tanto a las pautas de consumo como a las técnicas de análisis propuestas, se consideran potencialmente aprovechables en el monitoreo y gestión del suministro de agua para este tipo de abonados.

Finalmente, los establecimientos de restauración conforman el grupo con mayor variabilidad en su comportamiento, dificultando claramente la determinación de pautas de consumo. Sin embargo, esta instancia se interpreta con un desafío del que surgen alternativas de análisis especialmente interesantes e innovadoras. Puntualmente, los resultados obtenidos a partir de combinar los registros de consumo de agua con otras bases de datos disponibles en la web,

dejan a la vista los potenciales beneficios que se pueden obtener en la búsqueda de nuevas maneras de convertir datos en información de valor, en un contexto actual donde la digitalización ya es una realidad en constante evolución. Los que antes se definían entornos totalmente independientes entre sí hoy pueden interconectarse para obtener beneficios más allá de los objetivos para los que fueron creados.

### *De la identificación de incidencias*

La identificación de incidencias en el suministro de agua se traduce en posibles beneficios económicos tanto para la compañía gestora como para el abonado. Como se ha mostrado en los casos de estudio expuestos, mediante el uso de pautas de consumo predefinidas es posible reducir los niveles de agua no facturada evitando subcontajes, por ejemplo, detectando con cierta rapidez fallos en un contador, o disminuyendo los errores en la estimación de consumos eventualmente no registrados.

Además, se verifica la efectividad del uso de pautas de consumo para la detección de fugas o caudales no aprovechados y consumos anómalos o no autorizados, convirtiéndose una herramienta viable para gestión eficiente del recurso.

Por otra parte, considerando que las incidencias no sólo se refieren a eventos esporádicos, sino que también contemplan fallos cometidos en la etapa de proyecto, tales como errores en la selección de la tecnología de medición a instalar, se comprueba que la metodología para determinar la distribución del volumen consumido por rangos de caudal es de gran utilidad para identificar posibles subcontajes debidos, por ejemplo, al sobredimensionado del contador. En este punto, cabe aclarar que la sensibilidad de la técnica propuesta está directamente relacionada a la frecuencia de medición de los datos adoptada.

En todos los casos, queda en evidencia que el monitoreo continuo de los distintos usuarios de una red de agua potable, tendiente a optimizar la gestión del servicio, sólo es posible si se dispone de cierta información que defina el comportamiento esperado de los mismos.

## 7. LINEAS FUTURAS

En estos días, se estima que la cantidad de generación de datos por año en el mundo se duplicará cada año y se espera que para 2020 el tamaño total alcance los 44 zettabytes ( $10^{21}$  o 1 sextillion de bytes). Los especialistas hablan de la “hidroinformática” como una nueva disciplina que implica un proceso continuo de desarrollo y uso de datos, modelos y herramientas del agua para comprender nuestro entorno, involucrar a todos los interesados y apoyar las decisiones que conduzcan a una sociedad más eficiente y alcanzar todos los beneficios que supone la transformación digital del agua (Dragan, 2019). Para alcanzar el éxito es esencial contar con una nueva generación de profesionales capacitados para encabezar este proceso, capaces de crear una interfaz entre ámbitos tradicionalmente separados, tales como la ingeniería informática y la hidráulica urbana, y de alcanzar todos los potenciales beneficios que propone el proceso de digitalización en el sector del agua.

Un ejemplo de ello, es la viabilidad comprobada en este trabajo de combinar entornos de datos totalmente diferentes, para darles una utilidad más allá del entorno para el que fueron creados. La utilización de datos de consumo de agua en conjunto con los registros de la presencia de personas para la detección de anomalías, supone una de las infinitas ventajas a explotar en la era de la digitalización.

En este contexto, una evaluación exhaustiva de los consumos de agua para un período determinado de registros, puede volverse obsoleta con el tiempo y perder validez si no se plantea la posibilidad utilizar tecnologías que permitan actualizar los resultados automáticamente, aprovechando los registros almacenados continuamente.

La automatización los procesos de análisis de datos expuestos en este trabajo, para dar soporte en tiempo real a la gestión integral del servicio, contemplando no sólo los usuarios residenciales, sino también todos aquellos que desempeñan actividades no domésticas, supone uno de los próximos desafíos que dará valor agregado al uso de los registros disponibles en los abastecimientos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

AEI, 2017. *Oportunidades de la Industria 4.0 en el sector industrial del agua*, España: Agrupaciones Empresariales Innovadoras.

Andrews, L., 2016. *A Journey to Water Wise Cities*. *International Water Association (IWA)*. [En línea]. Available at: <https://iwa-network.org/a-journey-to-water-wise-cities/>. [Último acceso: Mayo 2019].

Arregui de la Cruz, F., Cabrera Rochera, E. & Cobacho Jordán, R., 2007. *Gestión Integral de Contadores de Agua*. Valencia: Instituto Tecnológico de Agua. Universidad Politécnica de Valencia.

Bohdanowicz, P. & Martinac, I., 2007. Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels. Case study of Hilton International and Scandic in Europe. *Energy and Buildings*. Elsevier, Volumen 39, pp. 82-95.

Cabellero Muñoz-Reja, I. y otros, 2018. *Calidad de Datos*. Madrid: RA-MA.

CEHE, 2018. *Anuario de Hostelería en España*, Madrid: Hostelería de España (antes Federación Española de Hostelería FEHR).

CEICE, 2019. *Conselleria de Educació, Cultura y Deporte. Generalitat Valenciana*. [En línea] Available at: <http://www.ceice.gva.es/es/web/centros-docentes/guia-de-centros-docentes> [Último acceso: Noviembre 2018].

Cheng, C. & Hong, Y., 2004. Evaluating water utilization in primary schools. *Building and Environment*, July, 39(7), pp. 837-845.

DAMA, 2017. *DAMA-DMBOK: Data Management Body of Knowledge*. Nº2 ed. Bradley Beach (Nueva Jersey): Technics Publications.

Dragan, S., 2019. *Towards a Digital Water Future*. *International Water Association (IWA)*. [En línea]. Available at: <https://iwa-network.org/towards-a-digital-water-future/>. [Último acceso: Mayo 2019].

EDUCACIONYFP, 2019. *Las cifras de la educación en España. Curso 2016-2017. B1 - Los centros docentes y su oferta educativa*, España: Subdirección de Estadística y Estudios del Ministerio de Educación y Formación Profesional.

Estadística Valencia, 2018. *Encuesta de ocupación en hoteles*, Valencia: Oficina de Estadística. Ayuntamiento de Valencia.

Farina, M., Maglionico, M., Pollastri, M. & Stojkov, I., 2013. Water consumption in public schools for the city of Bologna, Italy. *IWA Publishing Water Science & Technology: Water Supply*, 13(2), pp. 257-264.

GlobalOmnium, 2012. *Actualidad Global Omnium. A la vanguardia de la gestión inteligente de contadores*. [En línea]. Available at: <https://actualidad.globalomnium.com/la-vanguardia-de-la-gestion-inteligente-de-contadores/> [Último acceso: Abril 2019].

Google, 2019. *Ayuda de Google My Business. Centro de asistencia*. [En línea] Available at: <https://support.google.com/business/answer/6263531?hl=es>. [Último acceso: Marzo 2019].

Gössling, S.; Peeters, P.; Hall, M.; Cerone, J. P.; Dubois, G.; Lehmann, L.; Scotth, D., 2012. Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review.. *Tourism Management. Elsevier Ltd.*, Febrero, 33(1), pp. 1-15.

Grievson, O., 2019. *Importance of Data in the Digital Transformation. International Water Association (IWA)*. [En línea]. Available at: <https://iwa-network.org/digitalisation-digital-data/> [Último acceso: Mayo 2019].

INE, 2018. *España en cifras*, Madrid: Instituto Nacional de Estadística.

ISO/IEC 25012, 2019. *System and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Data Quality model*. Ginebra: International Organization for standarization.

Marinho, M., Gonçalves, M. & Kiperstok, A., 2013. Water conservation as a tool to support sustainable practices in a Brazilian public university. *Journal of Cleaner Production*, Volumen 62, pp. 98-106.

Meade, B. & Gonzalez-Morel, P., 1999. Improving water use efficiency in jamaican hotels and resorts through the implementation of environmental management systems. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 115(1).

Nielsen Holdings plc, 2016. *España vuelve a abrir bares. Iberia Nielsen Company*. [En línea] Available at: <https://www.nielsen.com/es/es/press-releases/2016>. [Último acceso: Febrero 2019].

ONU, 2018. *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*, Brasilia: Organización de las Naciones Unidas.

RETEMA, 2019. Transformación digital de la industria del agua. Agua inteligente. *Revista Técnica de Medio Ambiente*, Enero/Febrero, Issue 212, pp. 12-27.

Saltelli, A., Tarantola, S., Campolongo, F. & Ratto, M., 2004. *Sensitivity analysis in practice. A guide to assessing scientific models*. 1 ed. England: John Wiley & Sons Ltd.

SGA-UPV, 2015. *Declaración Ambiental 2014*, Valencia: Sistema de Gestión Ambiental. Universidad Politécnica de Valencia.

UPV, 2018. *Memoria del Curso Académico 2016-2017*, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

## 9. ANEXOS

A continuación, se exponen otros comentarios y resultados obtenidos en las distintas etapas del desarrollo de este trabajo y que no han sido incluidos en los capítulos correspondientes.

## 9.1. ANEXO I: Calidad de los Datos

Una correcta visualización de los resultados facilita la elaboración de conclusiones que posteriormente dan soporte a la toma de decisiones. En la Figura 76 se plantea una alternativa para exponer los resultados de una evaluación de calidad de datos.

Se han seleccionado 100 usuarios al azar, representados uno por columna, indicando el porcentaje de datos anuales disponible para cada uno, distinguiendo la calidad de los mismos con diferentes colores. Sobre el eje vertical se lee el porcentaje de datos anuales, sobre el eje horizontal inferior el código de identificación de cada usuario y en el eje horizontal superior, el porcentaje en orden creciente de la muestra.

Algunas lecturas que pueden realizarse sobre este ejemplo son que el 68% de la muestra tiene una calidad de datos insuficiente (lectura sobre el eje horizontal superior), siendo más frecuentes los problemas por consistencia de los datos, tales como registro de consumo permanente durante horas nocturnas o consumo nulo durante horas de actividad del usuario (tramos de las barras pintadas en rosado y amarillo).

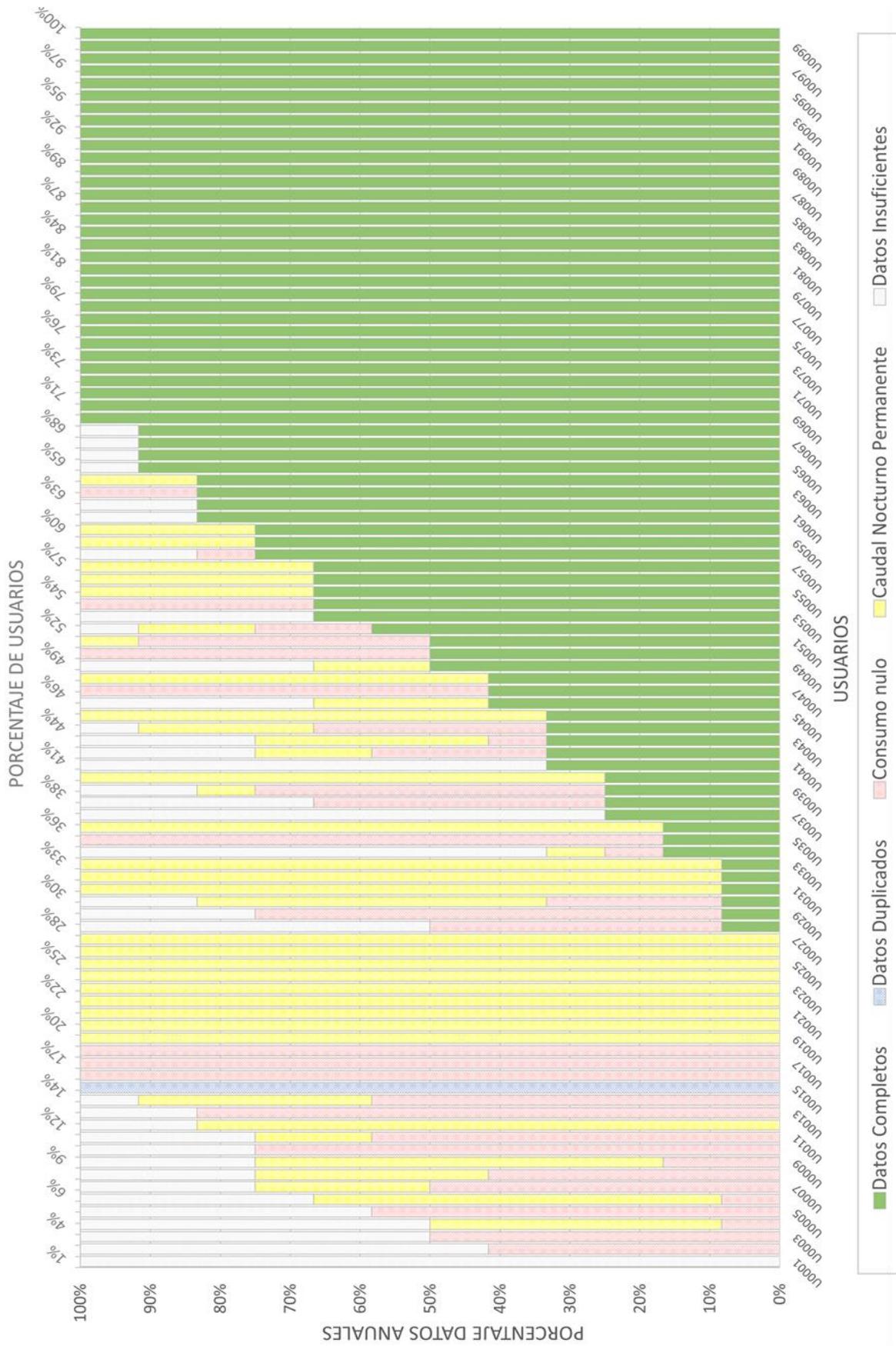


Figura 76. Alternativa para la visualización de resultados de calidad de los datos.

Por otra parte, a partir de los resultados parciales obtenidos en la fase de evaluación de los datos, se percibe que su calidad no guarda relación con el tipo de usuario, tampoco muestran dependencia entre el porcentaje de datos descartados respecto a la cantidad total de lecturas.

En la Figura 77 se muestra la relación entre la cantidad de días con registro y el total descartado de algunos usuarios de cada grupo. Aquellos que se ubican próximos a la línea trazada a 45° tienen prácticamente el 100% de sus datos descartados, mientras que los ubicados por debajo de la línea de trazo han logrado la validación de más del 50% de sus registros.

Adicionalmente, la dispersión observada entre usuarios de un mismo grupo deja puede interpretarse como una evidencia de la independencia de las variables respecto al tipo de usuario.

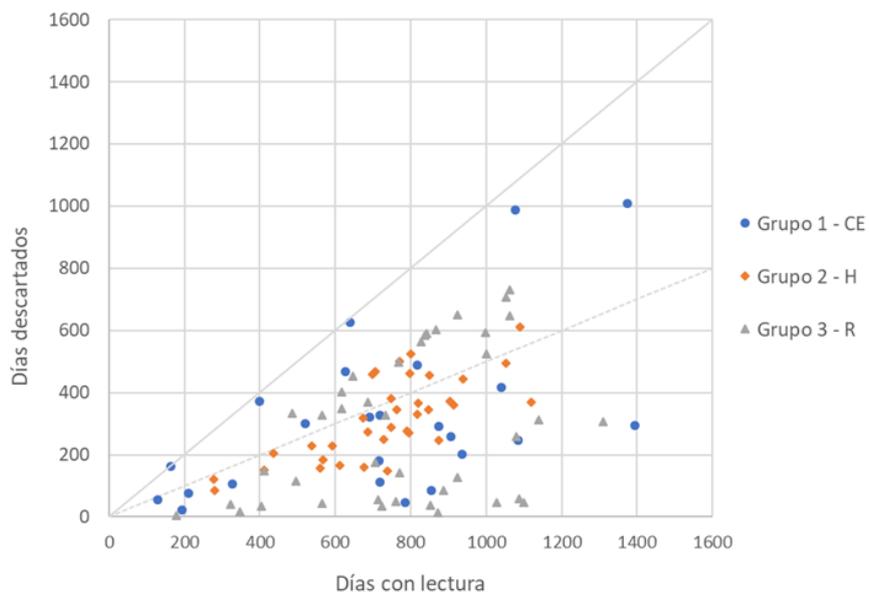


Figura 77. Correlación entre días con registro y días descartados

## 9.2. ANEXO II: Pautas de consumo

### 9.2.1. Curvas de modulación anual por trimestre

La curva de modulación anual, con coeficientes característicos trimestrales, puede resultar de utilidad en el análisis de datos de compañías cuyos sistemas de telelectura almacenan datos de consumo sólo con esta frecuencia. Por esta razón son incluida en la confección de los parámetros de cada categoría analizada en este trabajo, tal como muestran las siguientes figuras.

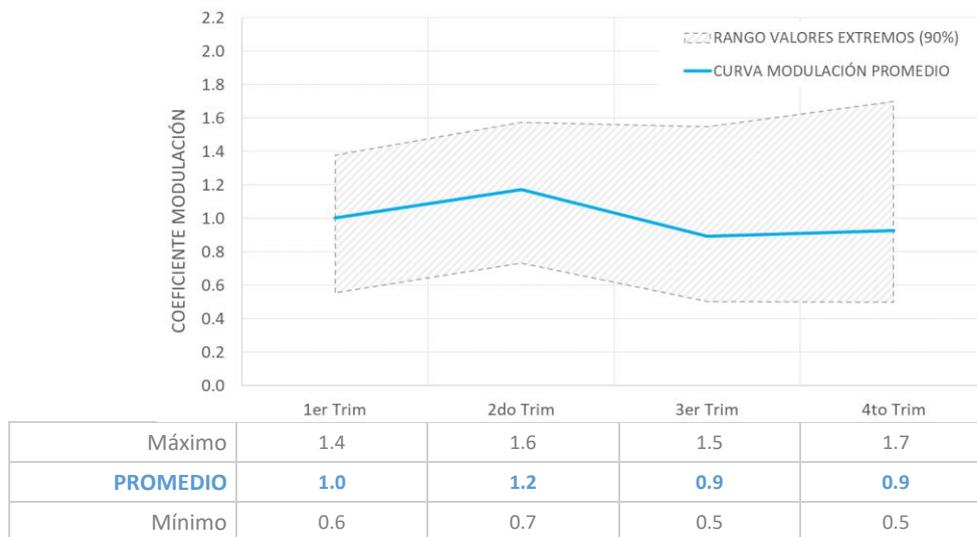


Figura 78. Curva de Modulación Anual (por trimestre) ESCUELAS INFANTILES.



Figura 79. Curva de Modulación Anual (por trimestre) COLEGIOS E INSTITUTOS.

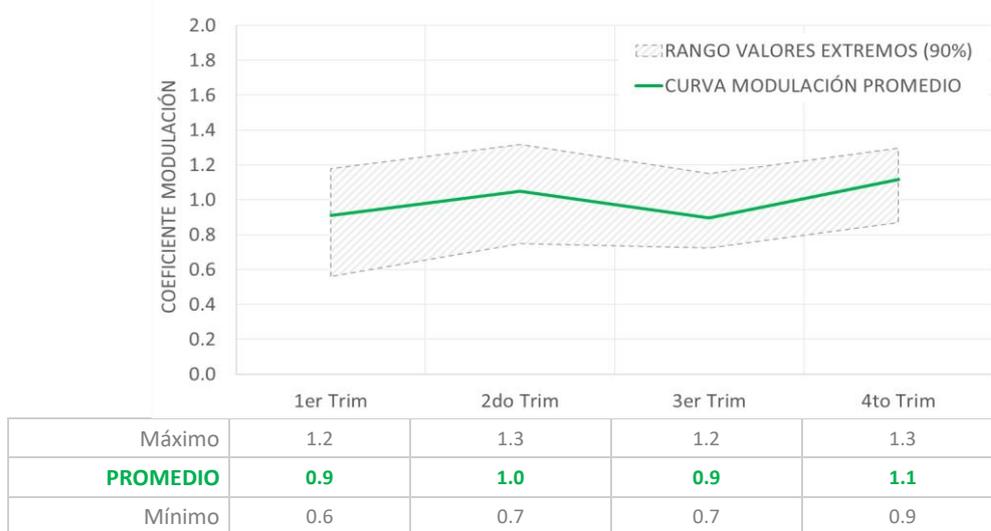


Figura 80. Curva de Modulación Anual (por trimestre) UNIVERSIDADES.

Tal como sucede para las curvas de modulación anual con frecuencia mensual de las diferentes categorías de centros educativos, las curvas trimestrales tienen una clara semejanza por vincularse a calendarios académicos muy parecidos, donde el tercer trimestre, que incluye el mes de vacaciones de verano, es el que registra una disminución en el consumo.

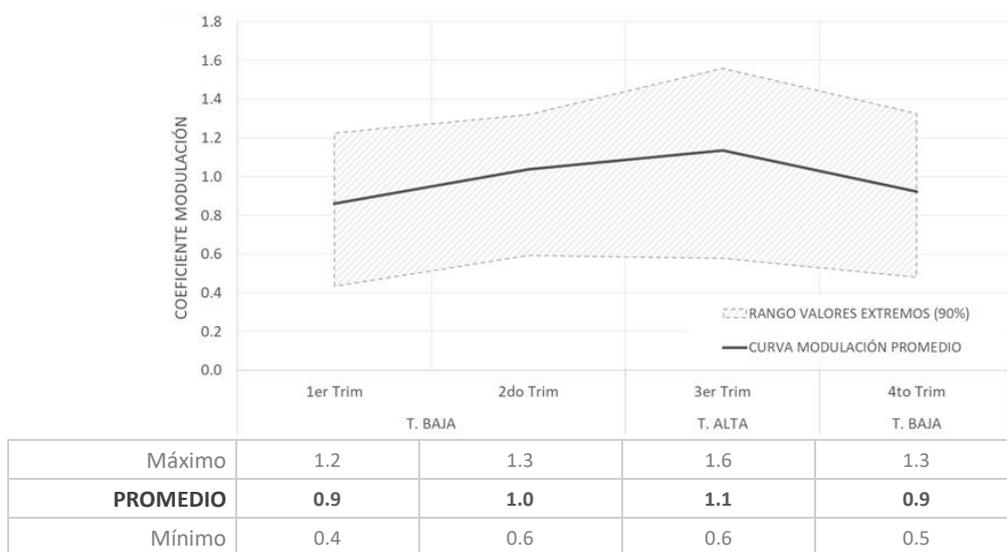


Figura 81. Curva de Modulación Anual (por trimestre) HOTELES.

El comportamiento de los hoteles sigue la misma tendencia que su curva de modulación anual con datos mensuales, evidenciando un pico de consumo durante los meses de temporada alta, es decir, el tercer trimestre.



Figura 82. Curva de modulación anual (por trimestre) BARES y CAFETERÍAS.



Figura 83. Curva de modulación anual (por trimestre) RESTAURANTES.

La modulación promedio tanto para bares y cafeterías, como para restaurantes no muestra variaciones relevantes a lo largo del año. No obstante, para la última categoría los valores extremos que delimitan el intervalo de confianza del 90% presentan mayor amplitud.

### 9.2.2. Dotaciones UPV

Como se menciona en el capítulo de caracterización del consumo, la determinación de parámetros característicos del consumo asociados a campus universitarios se vuelve muy compleja desde el primer intento por calcular dotaciones de referencia.

Por un lado, esta complejidad se asocia a la diversidad de usos que se da al agua en un contexto de actividades multidisciplinares, donde no sólo se destina al consumo de las

personas, tareas de limpieza y riego, sino también para laboratorios, talleres y actividades deportivas muy variadas. Por otra parte, esta demanda de agua no siempre es cubierta en su totalidad por una red de suministro, sino que en muchas ocasiones también se dispone de fuentes subterráneas.

A modo ilustrativo, se incluye a continuación el cálculo de dotaciones para el Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), obtenidas a partir de los registros de telelectura del último año, aportados por la compañía a cargo del servicio, Global Omnium.

El suministro de agua potable desde la red de distribución de la ciudad se hace a través de tres puntos que cuentan con contadores de calibre 150 y 65. Según un informe publicado por la propia universidad, para el curso académico 2016-2017 la cantidad de alumnos fue de 26833, a lo que debe sumarse el personal investigador, docente y administrativo, que alcanza los 4080 trabajadores, llegando a una cantidad total de alrededor de 30913 personas (UPV, 2018). Cabe aclarar que estas cifras corresponden sólo al Campus de Vera.

Al confeccionar la curva de modulación anual, se obtienen los resultados de la Figura 84.

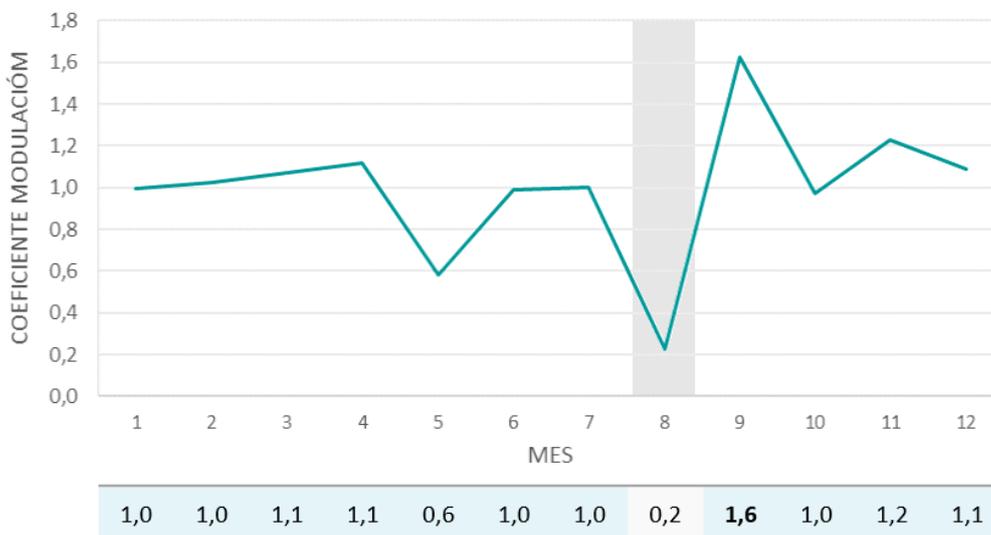


Figura 84. Curva de modulación anual Campus de Vera UPV.

Luego, considerando la población total se calcula la dotación mensual para meses lectivos, individualizando el mes de vacaciones de verano, tal como muestra la Figura 85.

Según los datos de telelectura, el valor medio para meses lectivos llega a 24.1 litros por persona y día, mientras que para el mes de agosto no supera los 5.1 litros por persona y día.

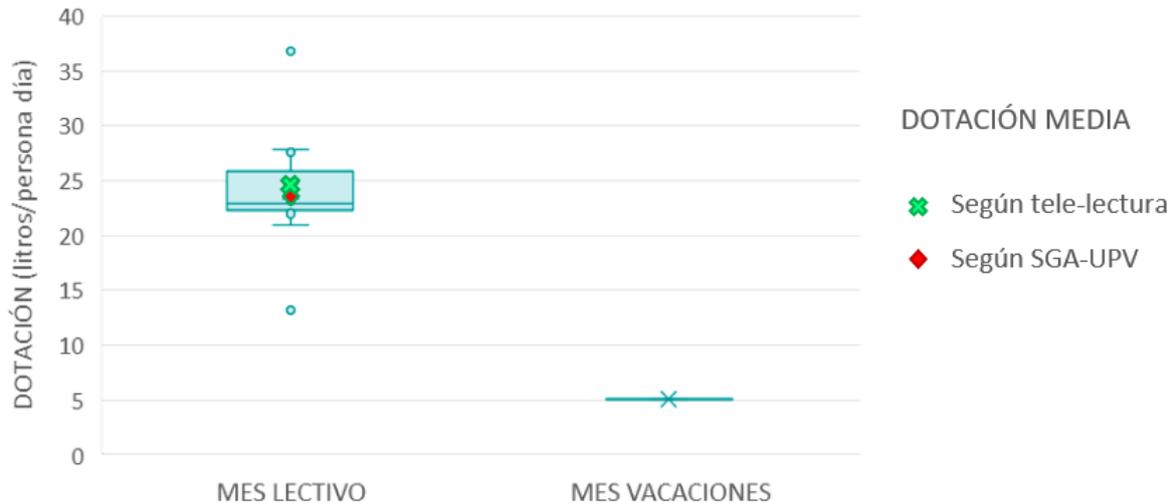


Figura 85. Dotaciones desde la red de suministro. Campus de Vera UPV.

Según la última declaración ambiental publicada por el Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad en los últimos años el Campus de Vera ha cubierto alrededor del 50% de su demanda de agua total desde la red de suministro de la ciudad (SGA-UPV, 2015), tal como se observa en la Tabla 18.

Tabla 18. Consumo total anual por fuente de suministro. Campus de Vera UPV (SGA-UPV, 2015).

FUENTE	2011	2012	2013	2014
<b>Red</b>	179119	161510	153318	165014
<b>Pozo</b>	145203	179428	154227	167547
<b>Total</b>	324322	340938	307545	332561
<b>Red (%)</b>	<b>55%</b>	<b>47%</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>
<b>Pozo (%)</b>	45%	53%	50%	50%
	100%	100%	100%	100%

Dicho esto, los valores obtenidos en la Figura 85 suponen alrededor del 50% del consumo total de agua del campus, ya que la otra mitad de la demanda es cubierta mediante la extracción de agua de pozo.

### 9.3. ANEXO III: Ensayo de la curva de error

A continuación, se detallan los datos y resultados obtenidos de los dos ensayos realizados sobre el contador del usuario CE0004, en posición horizontal y luego inclinado.

ENSAYO	1
Nº repeticiones ensayo	1
Nº contadores ensayados	1
Tipo procedimiento	Contador CE0004
Nº serie	14FB006570
Modelo contador	Medis Cyble
Longitud (mm)	115
Calibre (mm)	20
Q nominal (m <sup>3</sup> /h)	4.0
Clase metrológica	100
Q arranque (m <sup>3</sup> /h)	0.03
Posición instalación	Horizontal
Posición ensayo	Horizontal
Lugar	Banco ensayo UPV
Fecha	20/05/2019
Hora	15:00:00
Población	Valencia

#### RESULTADOS ENSAYO 1

Nº orden Q <sub>obj</sub>	1	Volumen i (m3)	906.42207	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 30 Límite superior aceptación 33 Límite inferior aceptación 27 DURACIÓN ENSAYO A Q: 30 sg 1190
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	906.42230	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	30	Error contador (%)	-97.69%	
Volumen ensayo (l)	9.95			
Tiempo ensayo (min)	19.00			
Tiempo ensayo (sg)	50.00			
¿Cumple Proced?	SI			
Caudal (l/h)	30.09			
Error ajuste (%)	0.29%			
Nº orden Q <sub>obj</sub>	1	Volumen i (m3)	908.20447	
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	908.21290	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	45	Error contador (%)	-15.36%	
Volumen ensayo (l)	9.96			
Tiempo ensayo (min)	13.00			
Tiempo ensayo (sg)	15.00			
¿Cumple Proced?	SI			
Caudal (l/h)	45.10			
Error ajuste (%)	0.23%			

Nº orden Q <sub>obj</sub>	2	Volumen i (m3)	906.42230	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 60		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	906.43170	Límite superior aceptación	66	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>60</b>	Error contador (%)	-5.76%	Límite inferior aceptación	54	
Volumen ensayo (l)	9.98	DURACIÓN ENSAYO A Q: 60				
Tiempo ensayo (min)	10.00	sg				601
Tiempo ensayo (sg)	1.00					
¿Cumple Proced?	SI					
Caudal (l/h)	59.75					
Error ajuste (%)	-0.42%					
Nº orden Q <sub>obj</sub>	3	Volumen i (m3)	906.43669	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 120		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	906.44658	Límite superior aceptación	132	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>120</b>	Error contador (%)	-1.49%	Límite inferior aceptación	108	
Volumen ensayo (l)	10.04	DURACIÓN ENSAYO A Q: 120				
Tiempo ensayo (min)	5.00	sg				303
Tiempo ensayo (sg)	3.00					
¿Cumple Proced?	SI					
Caudal (l/h)	119.29					
Error ajuste (%)	-0.59%					
Nº orden Q <sub>obj</sub>	4	Volumen i (m3)	906.44658	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 400		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	906.63803	Límite superior aceptación	440	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>400</b>	Error contador (%)	-2.81%	Límite inferior aceptación	360	
Volumen ensayo (l)	196.98	DURACIÓN ENSAYO A Q: 400				
Tiempo ensayo (min)	27.00	sg				1650
Tiempo ensayo (sg)	30.00					
¿Cumple Proced?	SI					
Caudal (l/h)	429.77					
Error ajuste (%)	7.44%					
Nº orden Q <sub>obj</sub>	5	Volumen i (m3)	906.63803	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 750		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	906.82673	Límite superior aceptación	825	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>750</b>	Error contador (%)	-4.26%	Límite inferior aceptación	675	
Volumen ensayo (l)	197.10	DURACIÓN ENSAYO A Q: 750				
Tiempo ensayo (min)	16.00	sg				967
Tiempo ensayo (sg)	7.00					
¿Cumple Proced?	SI					
Caudal (l/h)	733.77					
Error ajuste (%)	-2.16%					
Nº orden Q <sub>obj</sub>	6	Volumen i (m3)	906.82673	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 1500		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	907.01456	Límite superior aceptación	1650	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>1500</b>	Error contador (%)	-5.10%	Límite inferior aceptación	1350	
Volumen ensayo (l)	197.92	DURACIÓN ENSAYO A Q: 1500				
Tiempo ensayo (min)	7.00	sg				456
Tiempo ensayo (sg)	36.00					
¿Cumple Proced?	SI					
Caudal (l/h)	1562.53					
Error ajuste (%)	4.17%					

Nº orden $Q_{obj}$	7	Volumen i (m3)	907.20638	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 3000	
Nº repeticiones $Q_{obj}$	1	Volumen f (m3)	907.39868		Límite superior aceptación
$Q_{obj}$ (l/h)	<b>3000</b>	Error contador (%)	-3.56%	Límite inferior aceptación	2700
Volumen ensayo (l)	199.40	DURACIÓN ENSAYO A Q: 3000			
Tiempo ensayo (min)	3.00				sg
Tiempo ensayo (sg)	14.00				
¿Cumple Proced?	NO				
Caudal (l/h)	3700.21				
Error ajuste (%)	23.34%				

Tabla 19. Resumen resultados ensayo 1

Errores globales (%)		
Orden	Q (l/h)	14FB006570 [ITRON]
1	30	-97.69%
2	45	-15.36%
3	60	-5.76%
4	120	-1.49%
5	400	-2.81%
6	750	-4.26%
7	1500	-5.10%
8	3000	-3.56%

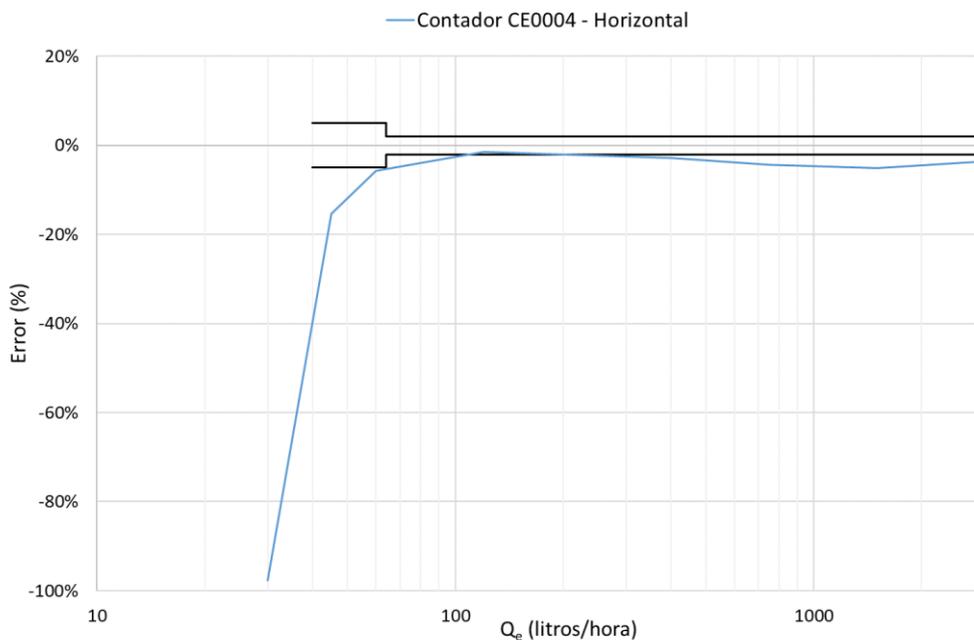


Figura 86. Curva de error contador horizontal. Usuario CE0004

ENSAYO	2
Nº repeticiones ensayo	1
Tipo procedimiento	Contador CE0004
Nº serie	14FB006570
Modelo contador	Medis Cyble
Longitud (mm)	115
Calibre (mm)	20
Q nominal (m <sup>3</sup> /h)	4.0
Clase metrológica	100
Q arranque (m <sup>3</sup> /h)	0.03
Posición instalación	Horizontal
Posición ensayo	Inclinado
Lugar	Banco ensayo UPV
Fecha	21/05/2019
Hora	09:00:00
Población	Valencia

## RESULTADOS ENSAYO 2

Nº orden Q <sub>obj</sub>	1	Volumen i (m3)	907.41823	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 30</td> </tr> <tr> <td>Límite superior aceptación</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>Límite inferior aceptación</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td colspan="2">DURACIÓN ENSAYO A Q: 30</td> </tr> <tr> <td>sg</td> <td>1190</td> </tr> </table>	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 30		Límite superior aceptación	33	Límite inferior aceptación	27	DURACIÓN ENSAYO A Q: 30		sg	1190
LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 30														
Límite superior aceptación	33													
Límite inferior aceptación	27													
DURACIÓN ENSAYO A Q: 30														
sg	1190													
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	907.41823											
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>30</b>	Error contador (%)	-100.00%											
Volumen ensayo (l)	9.95													
Tiempo ensayo (min)	19.00													
Tiempo ensayo (sg)	50.00													
¿Cumple Proced?	SI													
Caudal (l/h)	30.09													
Error ajuste (%)	0.29%													
Nº orden Q <sub>obj</sub>	1	Volumen i (m3)	907.41823	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 45</td> </tr> <tr> <td>Límite superior aceptación</td> <td>49.5</td> </tr> <tr> <td>Límite inferior aceptación</td> <td>40.5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">DURACIÓN ENSAYO A Q: 45</td> </tr> <tr> <td>sg</td> <td>806</td> </tr> </table>	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 45		Límite superior aceptación	49.5	Límite inferior aceptación	40.5	DURACIÓN ENSAYO A Q: 45		sg	806
LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 45														
Límite superior aceptación	49.5													
Límite inferior aceptación	40.5													
DURACIÓN ENSAYO A Q: 45														
sg	806													
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	907.42413											
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>45</b>	Error contador (%)	-40.76%											
Volumen ensayo (l)	9.96													
Tiempo ensayo (min)	13.00													
Tiempo ensayo (sg)	26.00													
¿Cumple Proced?	SI													
Caudal (l/h)	44.49													
Error ajuste (%)	-1.14%													
Nº orden Q <sub>obj</sub>	2	Volumen i (m3)	907.42413	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 60</td> </tr> <tr> <td>Límite superior aceptación</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>Límite inferior aceptación</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td colspan="2">DURACIÓN ENSAYO A Q: 60</td> </tr> <tr> <td>sg</td> <td>599</td> </tr> </table>	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 60		Límite superior aceptación	66	Límite inferior aceptación	54	DURACIÓN ENSAYO A Q: 60		sg	599
LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 60														
Límite superior aceptación	66													
Límite inferior aceptación	54													
DURACIÓN ENSAYO A Q: 60														
sg	599													
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	907.43228											
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>60</b>	Error contador (%)	-18.24%											
Volumen ensayo (l)	9.97													
Tiempo ensayo (min)	9.00													
Tiempo ensayo (sg)	59.00													
¿Cumple Proced?	SI													
Caudal (l/h)	59.91													
Error ajuste (%)	-0.15%													

Nº orden Q <sub>obj</sub>	3	Volumen i (m3)	907.43228	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 120		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	907.44177	Límite superior aceptación	132	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>120</b>	Error contador (%)	-5.38%	Límite inferior aceptación	108	
Volumen ensayo (l)	10.03	DURACIÓN ENSAYO A Q: 120				
Tiempo ensayo (min)	5.00	sg				303
Tiempo ensayo (sg)	3.00					
¿Cumple Proced?	SI					
Caudal (l/h)	119.17					
Error ajuste (%)	-0.69%					
Nº orden Q <sub>obj</sub>	4	Volumen i (m3)	907.44177	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 400		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	907.63188	Límite superior aceptación	440	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>400</b>	Error contador (%)	-3.50%	Límite inferior aceptación	360	
Volumen ensayo (l)	197.00	DURACIÓN ENSAYO A Q: 400				
Tiempo ensayo (min)	27.00	sg				1662
Tiempo ensayo (sg)	42.00					
¿Cumple Proced?	SI					
Caudal (l/h)	426.71					
Error ajuste (%)	6.68%					
Nº orden Q <sub>obj</sub>	5	Volumen i (m3)	907.63188	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 750		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	907.82005	Límite superior aceptación	825	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>750</b>	Error contador (%)	-4.60%	Límite inferior aceptación	675	
Volumen ensayo (l)	197.25	DURACIÓN ENSAYO A Q: 750				
Tiempo ensayo (min)	15.00	sg				937
Tiempo ensayo (sg)	37.00					
¿Cumple Proced?	SI					
Caudal (l/h)	757.84					
Error ajuste (%)	1.05%					
Nº orden Q <sub>obj</sub>	6	Volumen i (m3)	907.82005	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 1500		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	908.00785	Límite superior aceptación	1650	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>1500</b>	Error contador (%)	-5.15%	Límite inferior aceptación	1350	
Volumen ensayo (l)	198.00	DURACIÓN ENSAYO A Q: 1500				
Tiempo ensayo (min)	7.00	sg				466
Tiempo ensayo (sg)	46.00					
¿Cumple Proced?	SI					
Caudal (l/h)	1529.61					
Error ajuste (%)	1.97%					
Nº orden Q <sub>obj</sub>	7	Volumen i (m3)	908.00785	LÍMITE ACEPTACIÓN A Q: 3000		
Nº repeticiones Q <sub>obj</sub>	1	Volumen f (m3)	908.20094	Límite superior aceptación	3300	
Q <sub>obj</sub> (l/h)	<b>3000</b>	Error contador (%)	-3.55%	Límite inferior aceptación	2700	
Volumen ensayo (l)	200.20	DURACIÓN ENSAYO A Q: 3000				
Tiempo ensayo (min)	3.00	sg				194
Tiempo ensayo (sg)	14.00					
¿Cumple Proced?	NO					
Caudal (l/h)	3715.05					
Error ajuste (%)	23.84%					

Tabla 20. Resumen resultados ensayo 2

Errores globales (%)		
Orden	Q (l/h)	14FB006570 [ITRON]
1	30	-100.00%
2	45	-40.76%
3	60	-18.24%
4	120	-5.38%
5	400	-3.50%
6	750	-4.60%
7	1500	-5.15%
8	3000	-3.55%

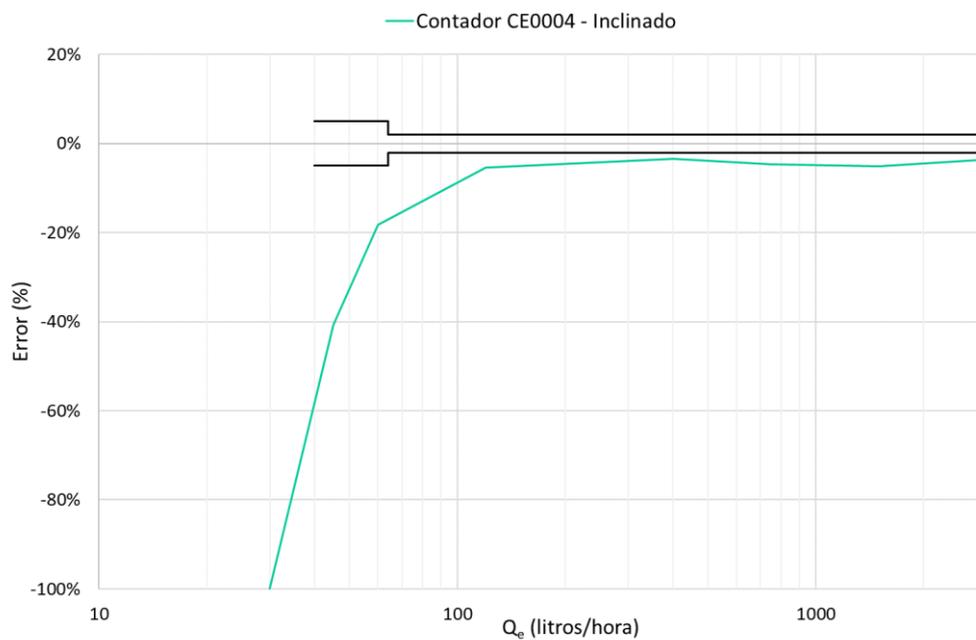
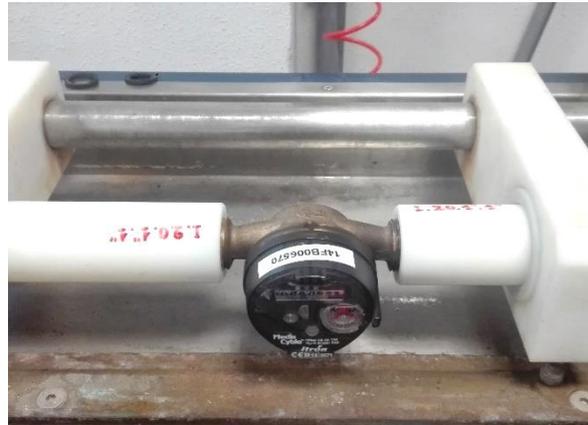


Figura 87. Curva de error contador inclinado. Usuario CE0004.